

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y  
METALURGICA**



**APLICACIÓN DE LOS REACTIVOS SURFACTANTES EN LA  
COMPAÑÍA MINERA NUEVA CALIFORNIA**

**INFORME DE SUFICIENCIA  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:  
KELY ANABEL SANTOS PEREZ**

**LIMA – PERU**

**2009**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es dedicado a mi familia por el apoyo constante y abnegado que siempre me da.

## RESUMEN

El presente trabajo está basado en las pruebas de cianuración que se realizaron en Compañía Minera Nueva California, con aplicación de reactivos surfactantes para obtener un proceso de cianuración en el cuál se reduzca el consumo de cianuro, mejore la cinética de cianuración y se obtenga mayor extracción de oro y plata.

Estas pruebas se llevaron a cabo de manera escalonada, teniendo como primer objetivo pruebas de laboratorio hasta llegar luego a los pads, esto se llevó a cabo mediante un convenio entre la empresa minera NUEVA CALIFORNIA y la química BASF PERUANA S.A.

En el desarrollo de las pruebas se estudia el efecto que puede tener la adición de estos reactivos en el proceso de cianuración, así como el efecto que tendría después de esta etapa.

La adición del reactivo es básicamente para reducir y controlar la Tensión Superficial de las soluciones lixiviantes, disminuyendo la resistencia de la superficie del mineral al ingreso de la solución (efecto de capilaridad) y por ende mejorar la humectabilidad del mineral durante la etapa de lixiviación.

Un mayor ingreso de cianuro, quiere decir también que será un cianuro mejor aprovechado, lo que hará que el consumo de cianuro sea menor.

Una mayor fuerza de cianuro, puede aligerar el contacto necesario entre el cianuro y el mineral, por lo tanto mejoraría el tiempo en que se pueda extraer el oro y la plata presentes en el mineral. A mayor cantidad de contacto entre el cianuro y el mineral se puede obtener mayor cantidad de extracción de oro y plata.

## INDICE

	Pág
<i>Introducción</i>	6
CAPITULO I : FISICOQUIMICA DE SUPERFICIE	
1.1 Tensión Superficial- Surfactantes	7
1.2 Efectos de Capilaridad	9
1.3 Concentración Micelar Crítica	10
1.4 Clases de Surfactantes	10
1.5 Aplicación de Surfactantes	13
1.6 Equipos de Medición	17
CAPITULO II: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL- PRUEBAS EN LABORATORIO	
2.1 Determinación de la Concentración Micelar Critica (CMC)	19
2.2 Pruebas de Lixiviación de Oro en columnas y contenedores con Diferentes tipos de surfactantes	25
2.2.2 Procedimiento de Pruebas en columnas	25
2.2.3 Procedimiento de Pruebas en contenedores	29
2.2.4 Resultados Obtenidos en la Prueba	33
CAPITULO III: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL- PAD INDUSTRIAL	
3.1 Procedimiento de la Prueba	38
3.2 Resultados de la Prueba	41

Conclusiones	45
Bibliografía	48
Anexos	

## INTRODUCCION

Uno de los problemas que se presentan en el proceso de cianuración es lograr la humectación adecuada entre la solución cianurada y el mineral del cual se va a extraer oro y plata, debido a que no todos los minerales presentan las mejores condiciones en la cual la penetración de la solución cianurada sea la mejor.

Las malas condiciones de humectabilidad en algunos minerales retarda la cinética de extracción por lo cual el incremento en la concentración de cianuro es el paso más frecuente a realizar, no obteniéndose en algunos casos la extracción esperada y aumentando los costos en la operación. Para mejorar esto se pensó disminuir la Tensión Superficial de la solución cianurada con la cual se lixiviaría el mineral.

En el área de Investigación y Desarrollo de Productos de la Química BASF Peruana S.A. se realiza estudios de diferentes reactivos, entre ellos reactivos surfactantes, dichos reactivos se usaron al realizar pruebas con minerales provenientes de las diferentes unidades mineras del Perú.

Minera Nueva California, facilitó el trabajo prestando sus instalaciones a todo el equipo de trabajo de BASF Peruana S.A, con el cual se logró realizar seguimiento desde Pruebas a nivel Laboratorio hasta Pruebas Piloto.

## CAPITULO I

### FISICOQUIMICA DE SUPERFICIE

#### 1.1. Tensión Superficial- Surfactantes

La palabra anfífilo hace su aparición en el título del texto P Winsor hace más de 30 años. Se constituyó a partir de dos raíces griegas. De un lado el prefijo “anfi” que significa “doble” de dos lados, alrededor, como en anfiteatro o anfibio. De otra parte la raíz “filo” que denota la amistad y la afinidad como en filántropo (el amigo del hombre), hidrófilo (afín al agua) o también filósofo (amigo del saber).

Una sustancia anfífila posee una doble afinidad, que se define desde el punto de vista fisicoquímico como una dualidad polar-apolar. La molecular típica de un anfifilo tiene dos partes:

Un grupo polar que contiene heteroátomo como O, S, P ó N , que se encuentran en grupos alcohol , ácido , sulfato, sulfonato, fosfato , amina , amida , etc. y un grupo apolar o poco polar que es un grupo general u grupo hidrocarbonado de tipo alquil ó alquil benceno , y que puede contener eventualmente átomos de halógeno u oxígeno.

La parte polar posee por los solventes polares en particular el agua y se denomina comúnmente la parte hidrófila ó hidrofílica. Por el contrario el grupo

apolar se llama la parte hidrófoba ó hidrofóbica, o bien lipofílica, del griego “phobos”, el miedo, el “lipos”, la grasa.

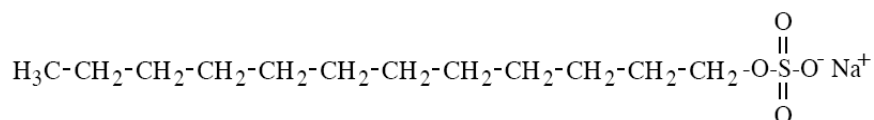


Fig. 1.1. Dodecil sulfato de sodio

Figura N° 1: Dodecil sulfato de sodio

Del hecho de su doble afinidad, la molécula de anfífilo, no está cómoda, en el seno de un solvente, sea este apolar o polar, puesto que existirá siempre una interacción que no será satisfecha. Es por esto que las moléculas de anfífilo muestran una fuerte tendencia a migrar a las interfases, de forma tal, que su grupo polar se encuentre dentro del agua y su grupo apolar se encuentre orientado hacia un solvente orgánico o en la superficie.

En lo que sigue se llamará **superficie** al límite entre una fase condensada y una fase gaseosa e **interfase** al límite entre dos fases condensadas. Esta diferenciación es cómoda, pero no indispensable, y existen textos donde no se realiza.

Los ingleses utilizan la palabra “surfactante” (agente activo de superficie) para denotar una sustancia que posee una actividad superficial ó interfacial. Es necesario hacer resaltar que todos los anfífilos no poseen tal actividad, para que esto suceda es necesario que la molécula posea propiedades relativamente



equilibradas, quiere decir, que no sea ni demasiado hidrófila ni demasiado hidrófoba.

La palabra “surfactant” no tiene una traducción exacta en español, lengua en la cual se usa el término genérico “tensoactivo”, que se refiere a una actividad o a una acción sobre la tensión superficial o interfacial, es decir sobre la energía libre de Gibbs. Este término es equivalente a surfactante solo si se supone que la actividad superficial o interfacial se traduce necesariamente por un descenso de la tensión, lo cual es verdad en la mayor parte de los casos que tienen un interés práctico. Usaremos el neologismo “surfactante” En general, el termino tensoactivo se refiere a una propiedad de la sustancia. Los anfífilos tienen muchas otras propiedades y se les califica según las aplicaciones: jabones, detergentes, dispersantes, emulsionantes, espumantes, bactericida, inhibidores de corrosión, antiestático, etc. o dentro de las estructuras de tipo: membrana, microemulsion, cristal líquido, liposomas o gel.

## **1.2. Efectos de Capilaridad**

La capilaridad es la habilidad de un tubo delgado para succionar un líquido en contra de la fuerza de gravedad. Sucede cuando las fuerzas intermoleculares adhesivas entre el líquido y el sólido son más fuertes que las fuerzas intermoleculares cohesivas entre el líquido. Esto causa que el menisco tenga una forma cóncava cuando el líquido está en contacto con una superficie vertical. Este es el mismo efecto que causa que materiales porosos absorban líquidos.

### **1.3. Concentración Micelar Crítica**

Cuando la estructura molecular de un compuesto es tal que su molécula contiene partes solubles en agua y otras insolubles, el comportamiento del compuesto frente al disolvente cambia, ya que no distribuyen uniformemente en el disolvente, siendo su concentración en la superficie de éste y en sus proximidades, mayor que en el resto del líquido.

Los tensoactivos debido a su estructura polar - apolar de su molécula presentan este fenómeno y disminuyen la tensión superficial del agua en concentraciones por debajo de la concentración en la que el tensoactivo ha cubierto la totalidad de la superficie. Arriba de esta concentración las moléculas de tensoactivo se dirigen hacia al interior del líquido formando agregados de moléculas sencillas de tensoactivos resultando una estructura con una orientación específica de alto peso molecular a partir de la cual se observan cambios bruscos en las propiedades fisicoquímicas como en su conductividad, presión osmótica, turbidez, tensión superficial. A esta concentración a la cual se da este cambio se le llama Concentración Micelar Crítica (CMC).

### **1.4. Clases de Surfactantes**

Desde el punto de vista comercial los surfactantes se clasifican según su aplicación. Sin embargo se observa que muchos surfactantes son susceptibles de ser utilizados en aplicaciones diferentes, lo que provoca confusiones.

Por tanto, se prefiere clasificarlos de acuerdo a la estructura de su molécula, o más exactamente según la forma de disociación en el agua.

**Surfactantes Aniónicos.**- Se disocian en un anión anfífilico y un catión, el cual es en general un metal alcalino o un amonio cuaternario.

A este tipo pertenecen los detergentes sintéticos como los alquil benceno sulfonatos, los jabones (sales de sodio de ácidos grasos), los agentes espumantes como el laurel sulfato, los humectantes del tipo sulfosuccinato, los dispersantes del tipo lignosulfonatos, etc. La producción de los surfactantes aniónicos representa alrededor del 55% de los surfactantes producidos anualmente en el mundo.

**Surfactantes No Iónicos.**- Están en el segundo rango por orden de importancia con un poco menos del 40% del total. En solución acuosa no se ionizan, puesto que ellos poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, fenol, éter o amida. Una alta proporción de estos surfactantes pueden tomarse relativamente hidrofílicos gracias a la presencia de una cadena polieter del tipo polioxido de etileno. El grupo hidrófobo es generalmente un radical alquilo o alquilbenceno y a veces una estructura de origen natural como un ácido graso, sobre todo cuando se requiere una baja toxicidad.

**Surfactantes Catiónicos.**- Se disocian en solución acuosa en un catión orgánico anfífilico y un anión generalmente del tipo halogenuro. La gran mayoría de estos surfactantes son compuestos nitrogenados del tipo sal de amina grasa o de amonio cuaternario. La fabricación de estos surfactantes es mucho más cara que la de los anteriores y es por esta razón que no se les utilizan salvo en caso de aplicación particular, como cuando se hace uso de sus propiedades bactericidas o

de su facilidad de adsorción sobre sustratos biológicos o inertes que poseen una carga negativa. Esta última propiedad hace que sean excelentes agentes antiestáticos, hidrofobantes, así como inhibidores de corrosión y puedan ser utilizados tanto en productos industriales como para uso doméstico.

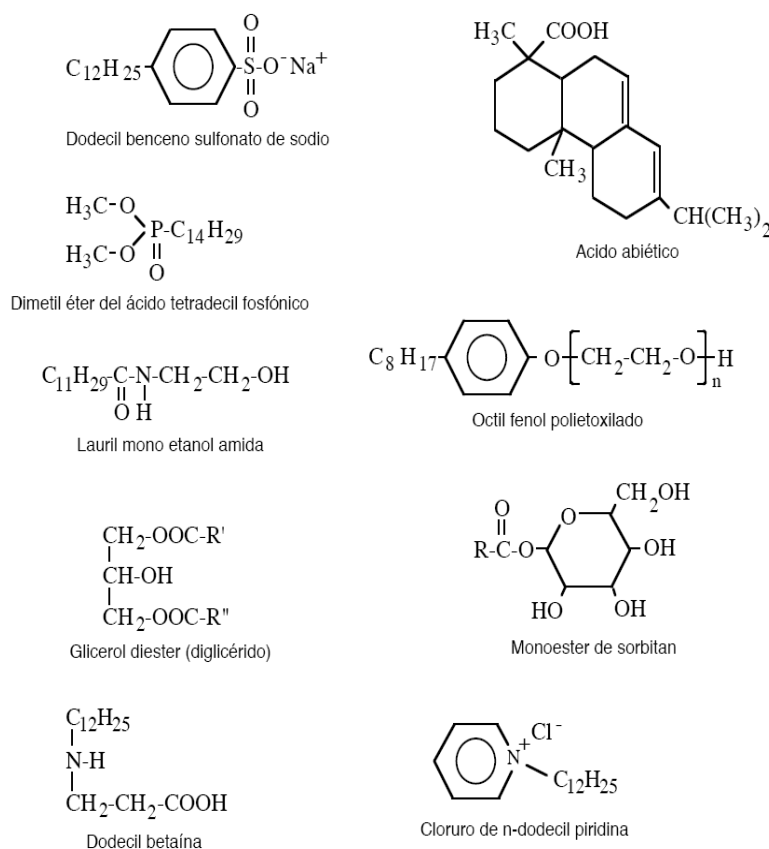


Figura 2: Formulas desarrolladas de algunos surfactantes corrientes

Cuaderno FIRP S300 –A Módulo de Enseñanza en fenómenos Interfaciales  
en español - Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos

Universidad de los Andes- Facultad de Ingeniería- Jean Louis Salager

La combinación dentro de una misma molécula de dos caracteres: aniónico y catiónico producen un surfactante llamado anfótero, como por ejemplo los aminoácidos, las betaínas o los fosfolípidos; ciertos anfóteros son insensibles al pH, otros son de tipo catiónico a pH ácido y de tipo aniónico a pH alto. Los

anfóteros son en general tan caros como los catiónicos y por esta razón su utilización se reduce a aplicaciones particulares.

Hace unos veinte años surgieron los surfactantes polimerice unos veinte años surgieron los **surfactantes poliméricos**; estos son producidos asociando estructuras polimerizadas de tipo hidrofílico o lipofílico, en forma de bloques o de injertos. Ciertos de estos surfactantes son indispensables en procesos donde están involucrados macromoléculas naturales como en la deshidratación de petróleo.

### **1.5. Aplicación de Surfactantes**

El campo de aplicación de los surfactantes es probablemente el más interdisciplinario de la ciencia y de la tecnología moderna.

Cuando se examina una superficie o una interfase, es decir, un límite entre dos sustancias inmiscibles, hay una fuerte probabilidad de encontrar un fenómeno interfacial que pone en juego a un surfactante.

En nuestro entorno y en nosotros mismos se consiguen una gran variedad de superficies y de interfases. Existen, además, muchos procesos industriales que manipulan fragmentos de sustancias u objetos delimitados por una superficie.

El Mundo de los Surfactantes pone en juego una muy grande variedad de surfactantes utilizados por sus propiedades particulares o por los fenómenos

interfaciales que ellos permiten producir en la amplia gama de procesos industriales, de uso domestico o de fenómenos naturales.

Se pueden utilizar tres entornos para organizar el mundo de los surfactantes:

(1) En función de una clasificación de los surfactantes por tipo, por su estructura química, por su ionización en el agua, etc. La clasificación convencional fundamentada sobre la ionización en fase acuosa: Surfactantes aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros.

(2) En función de las propiedades particulares o de los fenómenos involucrados. Se hablará entonces de tensoactivos (disminuyen la tensión), de jabones y de detergentes (para lavar), de humectantes (para cambiar la mojabilidad o el ángulo de contacto), de dispersantes, de agentes espumantes o antiespumantes, de emulsionantes o de desemulsionantes, de inhibidores de corrosión, de agentes antiestáticos, de desenrredantes, de suavizantes, de estabilizantes, etc.

Esta clasificación no es del todo satisfactoria porque la propiedad del surfactante no depende exclusivamente del surfactante mismo, sino también del ambiente fisicoquímico.

Un agente deshidratante, utilizado para desestabilizar una emulsión, es a menudo un buen agente emulsionante en otro ambiente fisicoquímico. Por otro lado, ciertos surfactantes pueden presentar varias de las propiedades mencionadas.

(3) En función del proceso industrial, del uso doméstico o del fenómeno natural en el cual se consiguen. Esta clasificación no es satisfactoria tampoco, ya que

muchos procesos o fenómenos naturales, aunque muy diferentes en naturaleza, se fundamentan en el mismo principio.

De hecho, aunque haya solo un número reducido de fenómenos fundamentales, el número de aplicaciones es extremadamente elevado, y su variedad considerable.

La producción mundial de jabones, detergentes y otros surfactantes era del orden de 18 Mt (millones de toneladas) en 1970 y de 25 Mt en 1980, correspondiendo un poco menos del 25% al mercado norteamericano y un 25% al mercado europeo.

La evolución cualitativa del mercado durante los últimos cuarenta años es significativa.

En efecto en 1940 la producción de surfactantes (1,6 Mt) se limitaba, esencialmente, a los jabones (sales de ácidos grasos) producidos según una tecnología muy antigua. Al final de la segunda guerra mundial se consiguen en el mercado olefinas cortas, en particular propileno, que se obtienen como subproducto del cracking catalítico y que no tenían en aquel entonces aplicación como el etileno. El bajo costo de esta materia prima permite sustituir ácidos grasos por radicales alquilo sintéticos.

Así nacen los detergentes sintéticos del tipo alquil benceno sulfonato que poco a poco reemplazarán los jabones para máquinas de lavar y en otras aplicaciones domésticas.

En 1965 las nuevas leyes de protección del ambiente limitan la utilización de los alquilatos de polipropileno en la fabricación de los detergentes sintéticos, tanto en los Estados Unidos como en Europa. Los productores de surfactantes deben por tanto utilizar materias primas un poco más costosas como los alquilatos lineales; como consecuencia los alquil benceno sulfonatos siguen siendo los surfactantes más baratos del mercado pero la diferencia del costo con los otros surfactantes se reduce. Esta situación favorece por tanto el desarrollo de nuevos productos.

En los años siguientes se observa una proliferación de nuevas fórmulas de todo tipo y una gran diversificación en los usos industrial y doméstico. La producción de jabones deja de decrecer y su uso dentro de productos industriales o productos cosméticos no medicinal aumenta rápidamente. Los surfactantes catiónicos y anfóteros aparecen en el mercado, pero su utilización está limitada a aplicaciones particulares por su alto costo.

Hace unos diez años el mercado se ha estabilizado y se reparte de la manera indicada en la tabla N° 1:

Tabla N° 01: Distribución de los Surfactantes

33% Jabones, carboxilatos, lignosulfonatos, donde:
50% jabones de uso domestico
35% otros ácidos de uso industrial.
22% Detergentes sintéticos del tipo sulfonato o sulfato, donde:
50% uso doméstico (polvos, líquidos)
17% industria petrolera
7% aditivos de cementos
4% agro-alimentos
3% cosméticos, productos farmacéuticos
40% Noiónicos etoxilados ó etoxisulfatos, donde:
40% alcoholes etoxilados
20% alquil fenol etoxilados
15% éteres de ácidos grasos
10% derivados de aminas o de amidas
4% Catiónicos, sobre todo amonios cuaternarios
1% Anfóteros, sobre todo betaínas y derivados de aminoácidos.



Los surfactantes poliméricos no se reportan en general como surfactantes y por lo tanto no entran dentro de las estadísticas correspondientes. Se puede estimar que representan un 2% del total, limitándose a las resinas sulfonadas o etoxiladas y a los copolímeros bloque de óxido de etileno o de óxido de propileno. Si se toman en cuenta los polímeros hidrofílicos de tipo carboximetilcelulosa y otros polisacáridos, se obtendría una cifra más elevada, pero estos últimos, en general, no se utilizan por sus propiedades surfactantes, sino como aditivos en formulaciones diferentes.

#### **1.6. Equipos de Medición de Tensión Superficial**

Para medir la Tensión Superficial en estas pruebas se utilizó el Tensiómetro KRUSS, el cual responde al siguiente principio:

Método del levantamiento del anillo. (Tensiómetro de DuNouy). Este método se basa en medir la fuerza necesaria para separar un anillo de la superficie, bien suspendido el anillo del brazo de una balanza, o utilizando un sistema de hilo de torsión.

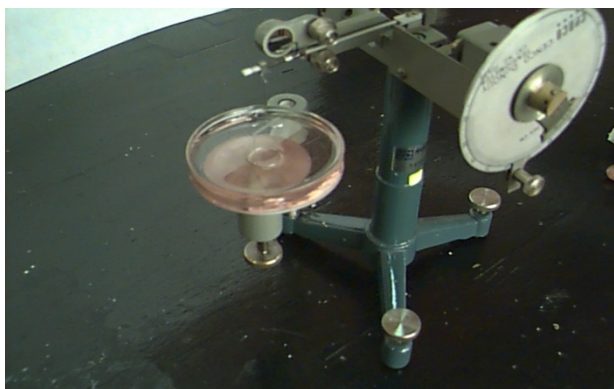


Figura N° 03: Tensiómetro de DuNouy

La fuerza para despegarlo está relacionada con la tensión superficial o interfacial por la expresión:

$$\gamma = \frac{\beta * f}{4 * \pi * r} \quad (1)$$

Donde  $f$  es el empuje aplicado al anillo en dinas;  $r$  es el radio medio del anillo y  $\beta$  es un factor de corrección. Para tener un ángulo de contacto cero, se utilizan anillos de platino perfectamente limpios. Es esencial que el anillo repose plano sobre la superficie líquida.

Para medidas en interfases, el líquido inferior debe mojar con preferencia el anillo.

La tensión superficial actúa sobre toda la circunferencia de este anillo, y la nueva superficie que se forma posee dos lados. Al momento de la ruptura, el peso del líquido desprendido será igual al producto de la tensión superficial por dos veces (la superficie externa y la superficie interna) es el perímetro del círculo. Si  $m$  es la masa medida, se puede escribir:

$$P = m * g = 2p * d * g \quad (2)$$

$$g = \frac{m * g}{2pd} = \frac{m * g}{4pr} \quad (3)$$

En realidad es necesario tomar en cuenta un factor de corrección el cual varía de 0.75 a 1.07 que depende de una pequeñísima porción de líquido que quedó adherido.

## **CAPITULO II**

### **PRUEBAS EXPERIMENTAL**

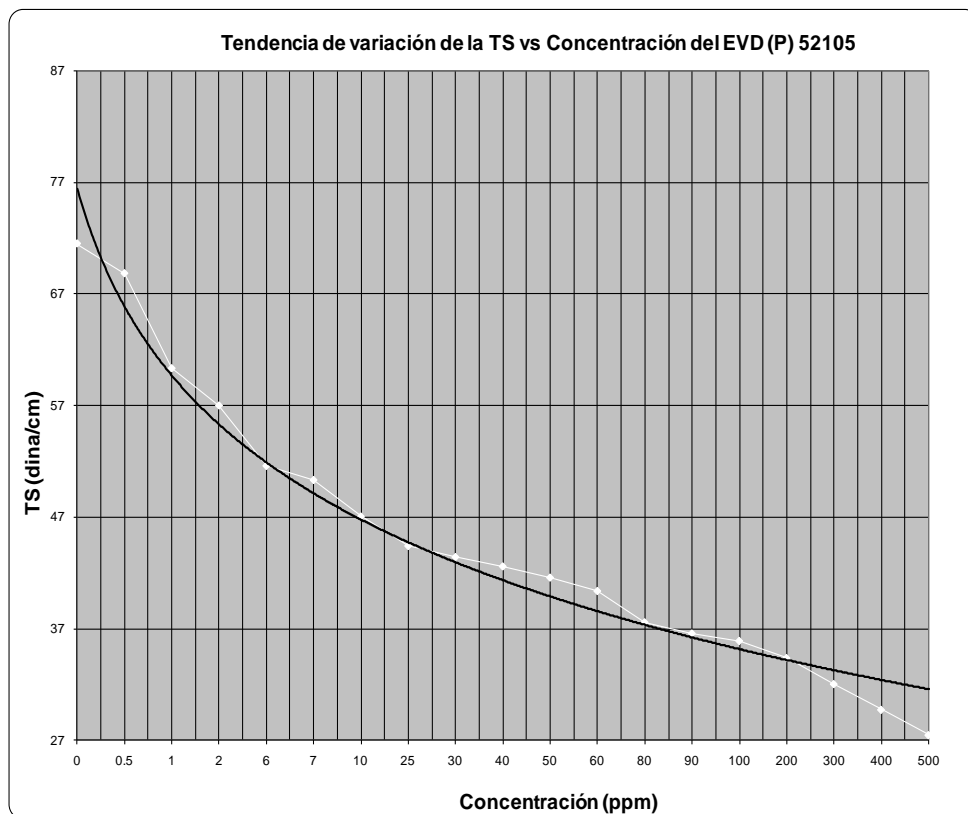
#### **2.1. Determinación de la Concentración Micelar Crítica (CMC)**

Para determinar la CMC del tensoactivo se va a utilizar el cambio brusco en la medida de la Tensión Superficial, para ello como instrumento de medida se usa el Tensiómetro de anillo SCHOOL TENSIO METER K6.

**Toma de medidas de Tensión Superficial.-** Para realizar las medidas de Tensión Superficial, se van a preparar soluciones a diferentes concentraciones, para este caso hemos realizado concentraciones desde 0 ppm hasta 500 ppm, y tomando mediciones de Tensión Superficial en cada una, para formar una curva del comportamiento en la disminución de la Tensión Superficial.

Tabla N° 2.1: Medidas de Tensión Superficial con EVD(P)-52105

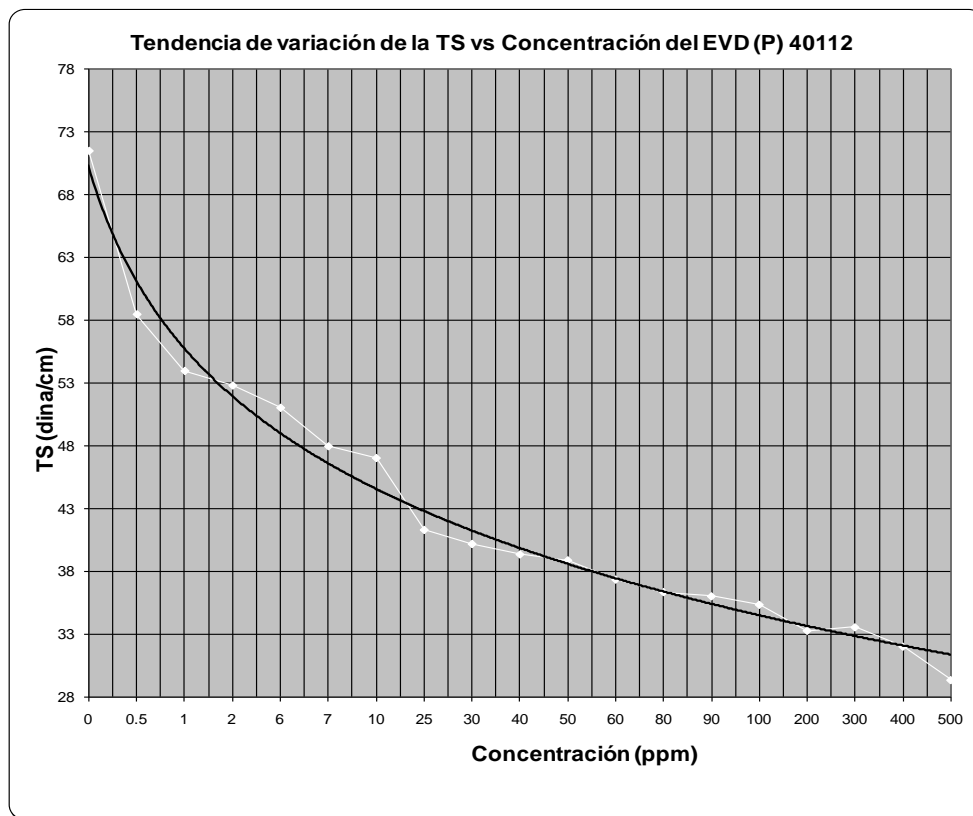
Concentr. (ppm)	Tensión Superficial EVD(P) -52105 (dina/cm)			
	L-01	L-02	L-03	Promedio
0	71.8	71.2	71.5	71.5
0.5	69.0	68.5	69.0	68.8
1	60.0	60.5	60.5	60.3
2	57.5	57.0	56.5	57.0
6	51.5	51.8	51.5	51.6
7	50.0	50.0	51.0	50.3
10	47.0	47.2	47.0	47.1
25	44.0	44.5	44.8	44.4
30	43.0	43.5	43.8	43.4
40	42.8	42.5	42.5	42.6
50	41.5	41.8	41.5	41.6
60	40.5	40.2	40.5	40.4
80	37.5	37.8	37.5	37.6
90	36.5	36.8	36.5	36.6
100	36.0	35.8	36.0	35.9
200	34.5	34.5	34.2	34.4
300	32.2	32.0	32.0	32.1
400	29.8	30.0	29.5	29.8
500	27.5	27.5	27.5	27.5



Gráfica N° 2.2: Medidas de TS con EVD(P) 52105 vs Concentración

Tabla N° 2.2: Medidas de Tensión Superficial con EVD(P)- 40112

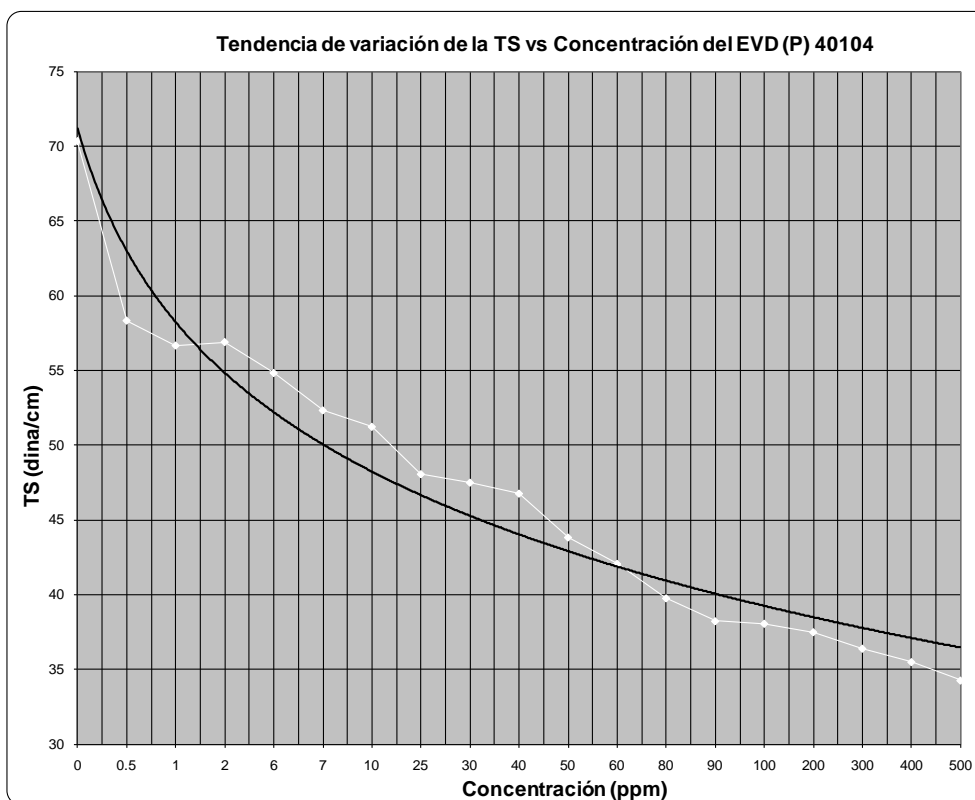
Concentr. (ppm)	Tensión Superficial EVD(P)-40112 (dina/cm)			
	L-01	L-02	L-03	Promedio
0	71.8	71.2	71.5	71.5
0.5	58.0	58.5	59.0	58.5
1	54.0	53.8	54.2	54.0
2	52.5	53.0	53.0	52.8
6	51.0	51.2	51.0	51.1
7	48.0	48,2	48.0	48.0
10	47.2	47.0	47.0	47.1
25	41.2	41.5	41,8	41.4
30	40.0	40.2	40.5	40.2
40	39.5	39.2	39.5	39.4
50	39.0	38.8	39.0	38.9
60	37.5	37.2	37.5	37.4
80	36.5	36.2	36.5	36.4
90	36.2	36.0	36.0	36.1
100	35.5	35.2	35.5	35.4
200	33.8	33.2	33.0	33.3
300	33.5	33.8	33.5	33.6
400	32.2	32.5	31.5	32.1
500	29.5	29.2	29.5	29.4



Gráfica N° 2.2: Medidas de TS con EVD(P)40112 vs Concentración

Tabla N° 2.3: Medidas de Tensión Superficial con EVD(P) - 40104

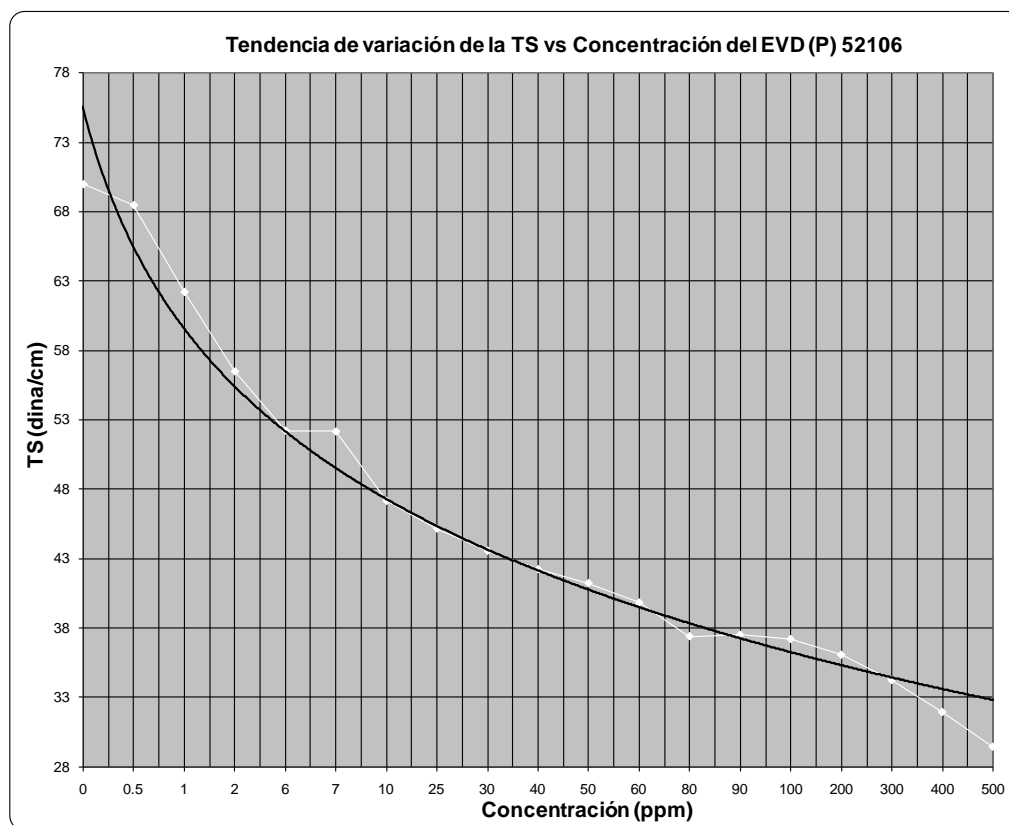
Concent. (ppm)	Tensión Superficial EVD(P)-40104 (dina/cm)			
	L-01	L-02	L-03	Promedio
0	69.0	71.0	71.0	70.3
0.5	58.0	58.5	58.5	58.3
1	56.5	57.5	56.0	56.7
2	56.5	57.0	57.2	56.9
6	55.0	54.5	55.0	54.8
7	52.0	52.5	52.5	52.3
10	51.2	51.0	51.5	51.2
25	48.0	48.0	48.2	48.1
30	47.2	47.8	47.5	47.5
40	46.8	47.0	46.5	46.8
50	43.5	44.0	44.0	43.8
60	42.0	42.0	42.2	42.1
80	39.8	40.0	39.5	39.8
90	38.5	38.0	38.2	38.2
100	38.0	38.2	38.0	38.1
200	37.5	37.8	37.2	37.5
300	36.5	36.2	36.5	36.4
400	35.2	35.5	35.8	35.5
500	34.6	34.0	34.2	34.3



Gráfica N° 2.3: Medidas de TS con EVD(P)40104 vs Concentración

Tabla N° 2.4: Medidas de Tensión Superficial con EVD(P) - 52106

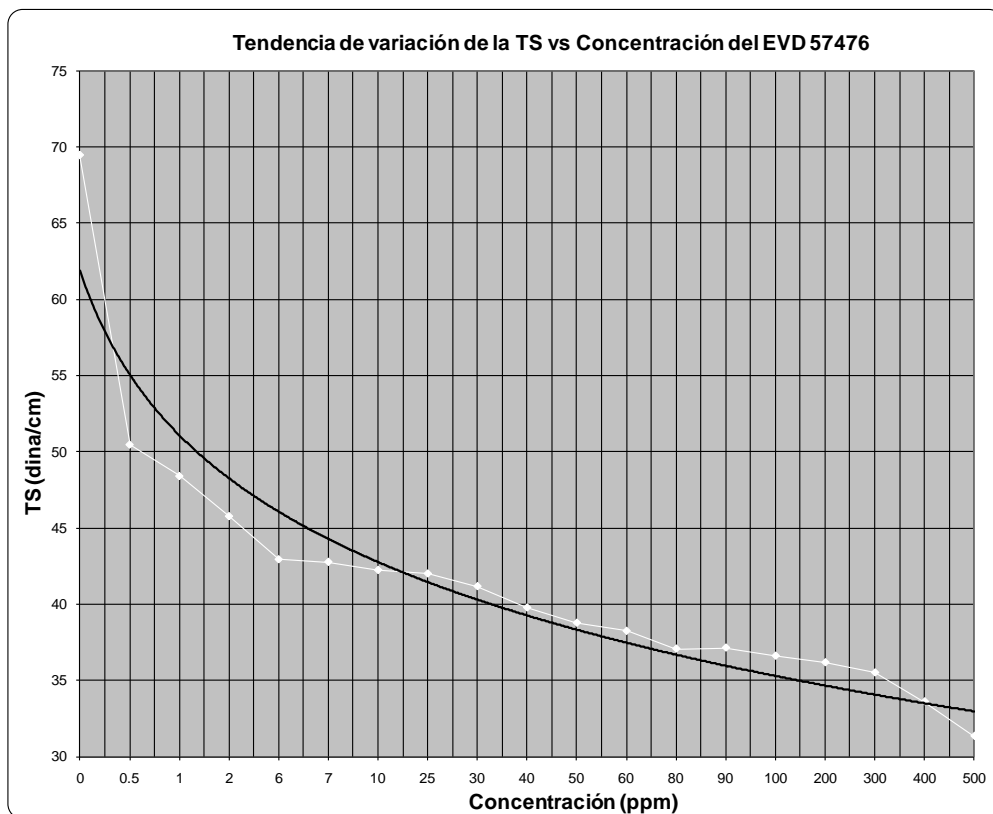
Concent. (ppm)	Tensión Superficial EVD(P)-52106 (dina/cm)			
	L-01	L-02	L-03	Promedio
0	70.0	70.5	69.5	70.0
0.5	68.0	68.5	69.0	68.5
1	62.0	62.5	62.2	62.2
2	56.0	56.5	57.0	56.5
6	52.0	52.2	52.5	52.2
7	52.0	52.5	52.0	52.2
10	47.0	47.5	47.0	47.2
25	45.0	45.5	45.0	45.2
30	43.5	43.2	44.0	43.6
40	42.0	42.5	42.2	42.2
50	41.0	41.5	41.2	41.2
60	40.0	39.5	40.0	39.8
80	37.5	37.2	37.5	37.4
90	37.5	37.5	37.5	37.5
100	37.2	37.2	37.2	37.2
200	36.0	36.2	36.0	36.1
300	34.0	34.2	34.5	34.2
400	32.0	31.8	32.0	31.9
500	29.5	29.8	29.0	29.4



Gráfica N° 2.4: Medidas de TS con EVD(P) 52106 vs Concentración

Tabla N° 2.5: Medidas de Tensión Superficial con EVD - 57476

Concentr. (ppm)	Tensión Superficial EVD- 57476 (dina/cm)			
	L-01	L-02	L-03	Promedio
0	69.5	70.0	69.0	69.5
0.5	50.2	50.2	51.0	50.5
1	48.5	48.2	48.5	48.4
2	46.0	45.5	45.8	45.8
6	43.0	42.8	43.0	42.9
7	43.5	42.8	42.0	42.8
10	42.0	42.2	42.5	42.2
25	41.8	42.0	42.2	42.0
30	40.8	41.5	41.2	41.2
40	39.8	39.5	40.0	39.8
50	38.8	39.0	38.5	38.8
60	38.0	38.5	38.2	38.2
80	37.0	37.2	37.0	37.1
90	37.0	37.2	37.2	37.1
100	36.5	36.8	36.5	36.6
200	36.5	36.0	36.0	36.2
300	35.2	35.8	35.5	35.5
400	33.5	33.8	33.5	33.6
500	31.5	31.0	31.5	31.3



Gráfica N° 2.5: Medidas de TS con EVD 57476 vs Concentración



## 2.2 Pruebas de Lixiviación de Oro en Columnas y Contenedores con diferentes tipos de Surfactantes

### 2.2.1 Características del Mineral

Ley Cabeza-Au	1.99 gr / t
Ley Cabeza – Ag	50.40 gr/ t
Granulometría	100% -1/4"
Humedad	8% Humedad

### 2.2.2 Procedimiento de Pruebas en Columna:

#### De las Columnas, flujos, Otros:

Dimensión de las columnas:

Diámetro (pulg) : 22

Altura (pulg): 66.9

Humedad del curado (%) : 12 % Se adicionó a la ya existente humedad 30 lts de solución cianurada + surfactante

Tiempo de curado (h) : 96 h (24 horas en superficie y 72 horas en columnas)

Solución de curado en las columnas

NaCN en superficie ( %) : 0.5

Volumen ( l) : 30

NaCN (%) : 0.1

pH : 12

Surfactante ( gr/m<sup>3</sup>) : 60

Rate de Riego (lt/h/m<sup>2</sup>) : 10

Flujo de solución (ml/min) : 24

Tiempo de cianuración

Circuito Cerrado (días) : 14

Circuito Abierto (días) : 8

Para las pruebas se instalaron 5 columnas, con los siguientes reactivos:

Columna N° 01	No se añadió Reactivo
Columna N° 02	EVD (P) 40112
Columna N° 03	EVD (P) 52106
Columna N° 04	EVD (P) 52105
Columna N° 05	EVD (P) 40104

### De la preparación y carguío del mineral a las columnas:

De la muestra de mineral principal se extrajo cinco (05) muestras de 560 kg c/u para las pruebas en columna. A cada una de estas muestras se les adicionó 30 litros de solución con  $60 \text{ gr/m}^3$  del surfactante respectivo. Se homogenizaron las muestras y se colocaron en las columnas, dejándose en proceso de curado un periodo adicional de 72 horas.

Concluido el tiempo de curado se procedió a drenar las soluciones, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla N ° 2.6 : Soluciones de drenaje en columnas

COLUMNA	REACTIVO	Volumen		TS (dynas/cm)		Fuerza NaCN		pH		Extracción Au	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	Blanco	30	6.5	69.8	68	0.6	0.35	12	12	0.05	1.9
2	EVD (P) 40112	30	2.0	36.5	50	0.6	0.33	12	12	0.09	3.56
3	EVD (P) 52106	30	19.1	36.0	50	0.6	0.31	12	12	0.07	3.64
4	EVD (P) 52105	30	8.1	39.0	51	0.6	0.35	12	12	0.07	4.07
5	EVD (P) 40104	30	9.5	38.5	60	0.6	0.32	12	12	0.06	3.9

Tabla N ° 2.7: Extracción de oro en la solución de curado

<b>COLUMNA</b>	<b>Volumen Final (l)</b>	<b>Ley Au (mg/l)</b>	<b>Metálico Au (mg)</b>	<b>% Extracción Au</b>	<b>Orden</b>
Blanco	6.50	1.90	12.35	100.00	4
EVD (P) 40112	2.00	3.56	7.12	57.70	5
EVD (P) 52106	19.10	3.64	69.52	562.90	1
EVD (P) 52105	8.10	4.07	32.97	266.90	3
EVD (P) 40104	9.50	3.90	37.05	300.00	2

Como se puede observar en la Tabla N° 2.7, quien obtiene mayor volumen de solución de salida es la columna N°03 (surfactante EVD (P) 52106), asimismo esta columna obtiene la mejor extracción de oro seguido de las columnas N°5 y N°4.

La columna N° 02 [EVD (P) 40112] es la que menos solución de curado dreno y menos extracción de oro obtuvo no obstante su buena ley de oro en solución.

Se aprecio un flujo de solución de salida más constante en la columna N°03 y en la columna N°05. La columna N° 2 (EVD (P) 40112) es la que presenta menor extracción de oro.

Con la finalidad de evaluar adecuadamente el comportamiento de los reactivos surfactantes se procedió a trabajar en una primera etapa con un circuito cerrado (14 días - recirculación de solución, sin sistema de carbón activado), pasado esta etapa se procedió a trabajar con circuito abierto (siempre solución barren fresca o nuevo) por un periodo de 8 días.

### **Circuito Cerrado (Con Reciclado – 14 días)**

Recuperada la solución de humectación (curado de columna) se procedió a mezclarla con barren y agua para alcanzar el volumen adecuado (60 lts) además de ajustarla a los parámetros pre- establecidos. La concentración de cianuro en esta solución fue aprox. 0.1% añadiéndosele además (a excepto de la columna blanco), 1.8 gr de surfactante (a una concentración de (0.03 gr/lit) con la finalidad de bajar la Tensión Superficial inicial de la solución fresca.

Tabla N ° 2.8 : Adición de Surfactante en la Solución Lixivante en cada columna

COLUMNA	REACTIVO	Volumen Sol. Lixivante			Surfactante		Fuerza	PH	Contenido
		Sol Curado (l)	Sol Barren (l)	Agua (l)	TS	ppm	NaCN (%)		Oro (mg/l)
1	Blanco	6.5	10.5	43.0	68.8	0	0.108	12	0.09
2	EVD (P) 40112	2.0	58.0	0	39	30	0.112	12	0.09
3	EVD (P) 52106	19.1	0	40.9	36.5	30	0.103	12	1.21
4	EVD (P) 52105	8.1	0	51.9	37	30	0.122	12	0.73
5	EVD (P) 40104	9.5	0	50.5	37	30	0.126	12	0.7

La TS de las soluciones de cianuración, con surfactante, estuvo en el rango de 37 a 41 dinas/cm.

En la etapa de cianuración con recirculación, el flujo de riego fue de 24 ml/min.

### **Circuito abierto (Sin reciclado – 8 días)**

La solución de cianuración empleada fue barren de planta, ajustado a los parámetros operativos pre-definidos. La solución pregnant se descartaba al 100%, operación que se repitió los 8 días de la evaluación.

Después de esos 8 días se procedió a lavar las columnas con agua cianurada de 0.1%, y pH = 12, por espacio de 2 días.

La segunda parte del lavado fue solo con agua fresca también por un espacio de 2 días.

Luego se procedió a sacar el mineral de las columnas, para tomar muestras y ser analizadas.

### 2.2.3 Procedimiento de Pruebas en Contenedores:

#### De los Contenedores, flujos, Otros:

Dimensión de los contenedores:

Lado (pulg) : 47

Alto (pulg) : 47.24

Humedad del curado (%) : 12 % Se adicionó a la ya existente humedad 100 lts de solución cianurada + surfactante (4.615 g/t)

Tiempo de curado (h) : 96 h (24 horas en superficie y 72 horas en el contenedor)

Solución de curado adicionado en los Contenedores :

NaCN en superficie ( %) : 0.5

Volumen ( l ) : 100

NaCN (%) : 0.1

pH : 12

Surfactante ( gr/m<sup>3</sup>) : 60

Rate de Riego (lt/h/m<sup>2</sup>) : 10

Flujo de solución (ml/min) : 270

Tiempo de cianuración

Circuito Cerrado (días) : 18

Circuito Abierto (días) : 4

Para las pruebas se instalaron 3 contenedores, con los siguientes reactivos surfactantes:

Contenedor N°01 Blanco (Sin surfactante)

Contenedor N°02 EVD 57476

Contenedor N°03 EVD (P) 40112

Para las pruebas se instalaron 3 contenedores, con los siguientes reactivos surfactantes:

Contenedor N°01 Blanco (Sin surfactante)

Contenedor N°02 EVD 57476

Contenedor N°03 EVD (P) 40112

### De la preparación y carguío del mineral en los contenedores (hoover):

La muestra de mineral (+/- 10 TM) empleada en las pruebas, tenía ya 24 horas de curado (en superficie). De este material representativo se tomaron tres muestras de 1300 Kg cada una, se procedió a humedecer homogéneamente las muestras con 100 L de solución (0.1% NaCN, pH: 12) dos de ellas con 60 gr/m<sup>3</sup> del surfactante respectivo.

Las muestras homogenizadas y humectadas fueron colocadas en sus respectivos contenedores, para terminar de curarse (72 horas restantes).

Concluido el tiempo de curado se procedió a drenar las soluciones, obteniéndose los siguientes datos (Tabla N°10):

Tabla N °10: Soluciones de drenaje de los contenedores

Cont	REACTIVO	Volumen		TS (dynas/cm)		Fuerza NaCN		PH		Extracción Au	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	Blanco	100	64.28	69.75	57.50	0.6	0.47	12	12	0.05	4.48
2	EVD 57476	100	68.60	38.20	50.75	0.6	0.37	12	12	0.05	4.33
3	EVD (P) 40112	100	70.55	36.57	50.38	0.6	0.45	12	12	0.05	4.5

Tabla N °11 : Extracción de oro en la solución de curado

CONTENEDOR	Volumen Final (l)	Ley Au (mg/l)	Metálico Au (mg)	% Extracc Au	Orden
Blanco	64.28	4.48	287.97	100.00	3
EVD 57476	68.60	4.33	297.04	103.10	2
EVD (P) 40112	70.55	4.50	317.47	110.20	1

Las soluciones pregnan obtenidas presentaban un aspecto cristalino con una tonalidad amarillenta. El flujo de las tres soluciones fue constante.

En esta etapa (drenado de curado) se observó que la solución de drenaje del Contenedor N°03 (Reactivo EVD (P) 40112) es quien tiene la mayor lectura de Oro y el mayor volumen de Solución de Curado.

Con la finalidad de evaluar adecuadamente el comportamiento de los reactivos surfactantes se procedió a trabajar en una primera etapa (18 días) con un circuito cerrado (recirculación de solución, sin sistema de carbón activado), pasada esta etapa se procedió a trabajar con circuito abierto (siempre solución barren fresca o nueva) por un periodo de 4 días. La solución rica obtenida en el circuito cerrado fue eliminada completamente antes de iniciarse el circuito abierto.

#### **Contenedor - Circuito Cerrado (Con Reciclado – 18 días)**

La Solución obtenida del Curado se mezcló con barren y con agua fresca hasta obtener 270 litros de Solución Lixivante, volumen requerido para un día de cianuración. La concentración o fuerza de cianuro se mantuvo en 0.1%. A dos de las soluciones frescas se le adicionó 8.1gr de surfactante (0.03gr/lit) lo que permitió iniciar la cianuración con una TS entre 34 y 41 Din/cm. Esta solución Lixivante ingresó al contenedor (hoover) y se recuperó en la parte inferior después de percolar por el mineral.

La solución recepcionada rica o pregnant fue recirculada, previa nivelación de los parámetros operativos tales como:

- Volumen = 270 lt
- Cianuro = 0.1%
- pH = 12.0
- TS = 34 - 41 Dinas/cm

A continuación se presenta la Tabla N°12 , donde se indica los volúmenes de mezcla de la Solución Lixivante, las adiciones de Surfactante, fuerza de cianuro, pH y las leyes de Oro de cada solución cianurante.

Tabla N° 2.11: Adición de Surfactante en la Solución Lixivante en los contenedores

CONT	REACTIVO	Volumen Sol. Lixivante			Surfactante		Fuerza	pH	Contenido Oro (mg/l)
		Sol Curado (l)	Sol Barren (l)	Agua (l)	TS	ppm	NaCN (%)		
1	Blanco	64.3	105	100.7	69	0	0.13	12	1.07
2	EVD 57476	68.6	133.0	684	41	30	0.2	12	1.1
3	EVD (P) 40112	70.6	135.8	63.7	34	30	0.12	12	2.23

#### Contenedor - Circuito Abierto (Sin Reciclado – 4 días)

Se empleo solución barren, según parámetros definidos, cómo solución de cianuración fresca. La solución rica obtenida de la cianuración fue descartándose todos los días durante los 4 días que duro la prueba.

Después de esos 4 días se procedió a lavar las columnas con agua cianurada de 0.1%, y pH = 12, por espacio de 2 días.

La segunda parte del lavado fue solo con agua fresca también por un espacio de 2 días.



Luego se procedió a sacar el mineral de las columnas, secar y tomar muestras para ser analizadas.

## 2.2.4 Resultados Obtenidos en la Prueba

### Efecto del surfactante sobre el Cianuro

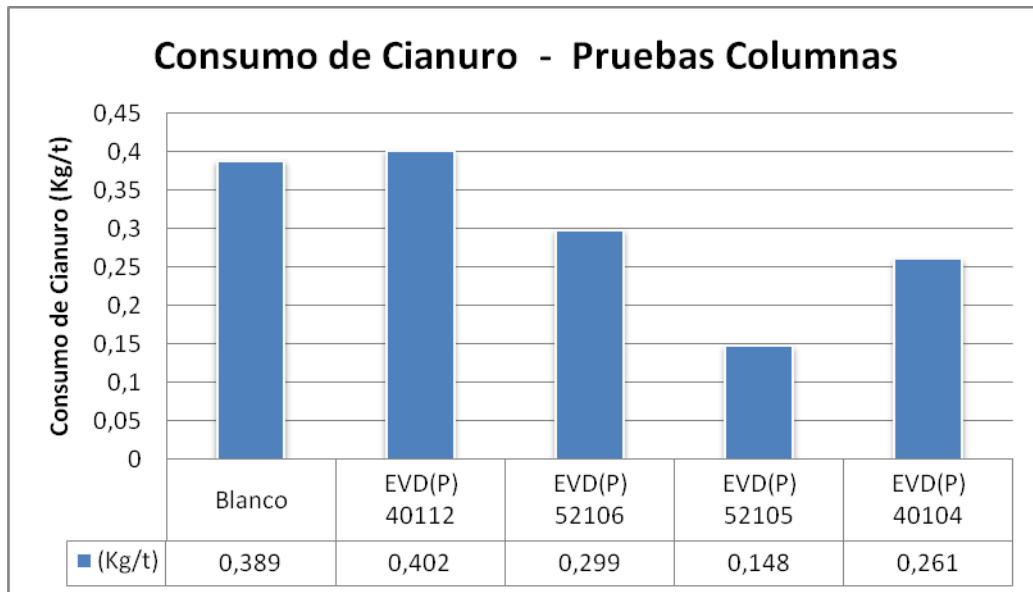
En las tablas N° 10 y N° 12, Gráficos N° 07 y N° 08 se observa que la aplicación de los reactivos surfactantes (a excepción del EVD (P) 40112) en ambos set de pruebas /Contenedor y Columnas) permite reducir el consumo de cianuro de sodio en el proceso de solubilización del oro, siendo el porcentaje de reducción de consumo mínimo de 13.9% pudiendo ser este mucho mayor.

Tabla N° 2.12: Pruebas en Columna - Acción del surfactante sobre el consumo de NaCN

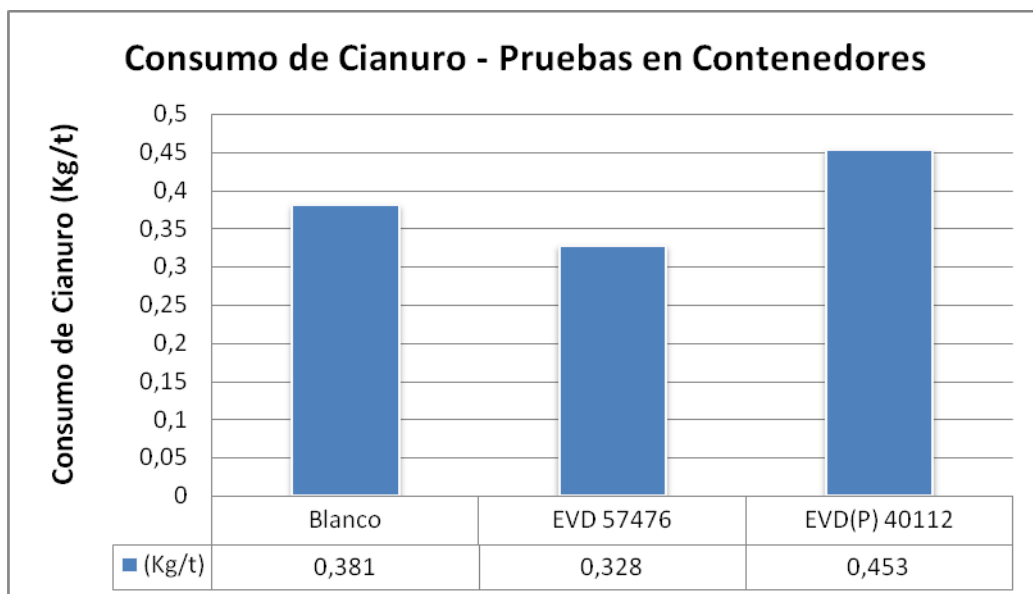
<b>Columna N°</b>	<b>Tipo Surfactante</b>	<b>Consumo NaCN (Kg/t)</b>	<b>Diferencia Consumo NaCN (%)</b>
1	Blanco	0.389	100.0
2	EVD(P) 40112	0.402	103.3
3	EVD(P) 52106	0.299	76.9
4	EVD(P) 52105	0.148	38.1
5	EVD(P) 40104	0.261	67.1

Tabla N°2.13: Pruebas en Contenedores - Acción del surfactante sobre el consumo de NaCN

<b>CONT N°</b>	<b>Tipo Surfactante</b>	<b>Consumo NaCN (Kg/t)</b>	<b>Diferencia Consumo NaCN (%)</b>
1	Blanco	0.381	100.0
2	EVD 57476	0.328	86.1
3	EVD(P) 40112	0.453	118.9



Gráfica N°26 : Pruebas en Contenedores  
Acción del surfactante sobre el consumo de NaCN



Gráfica N°2.7 : Pruebas en Contenedores  
Acción del surfactante sobre el consumo de NaCN

### Efecto del surfactante sobre la Extracción de Oro y Plata

Para efecto de la evaluación metalúrgica, consideraremos tres escenarios en función de los análisis químicos realizados tanto en Minera Nueva California como en Laboratorios Plenge.

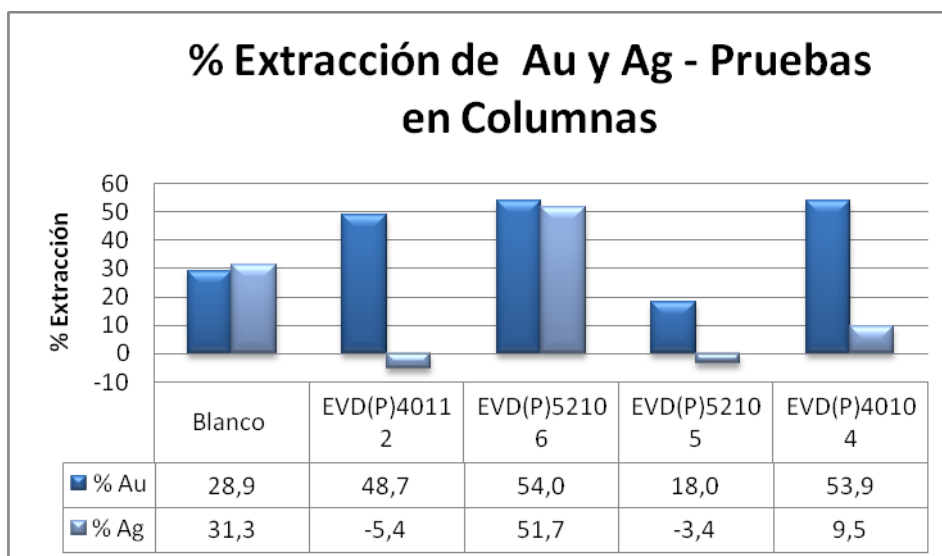
## Pruebas en Columnas

Resultados Metalúrgicos en base a Análisis Químicos realizados en Laboratorios Plenge:

En este balance Metalúrgico en base a los análisis químicos de Lab. Plenge, los mejores resultados en cuanto a recuperación de oro se obtienen con los reactivos surfactantes EVD(P) 52106 y EVD(P) 40104 (Recuperación Au = 54%).

Tabla N° 2.14: Extracción de Au y Ag en las columnas

Columna	Surfactante	Ley Cabeza (gr/t)		Ley de Relave (g/t)		Extracción (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
1	Blanco	1.999	50.4	1.422	34.63	28.9	31.3
2	EVD(P)40112	1.999	50.4	1.026	53.14	48.7	-5.4
3	EVD(P)52106	1.999	50.4	0.92	24.34	54.0	51.7
4	EVD(P)52105	1.999	50.4	1.64	52.11	18.0	-3.4
5	EVD(P)40104	1.999	50.4	0.92	45.60	53.9	9.5



Gráfica N° 28 : Extracción de Au y Ag en las Pruebas en columnas

## Pruebas en Contenedores

Balance Metalúrgico en base a Análisis Químicos realizados en Laboratorios Plenge:

Del balance realizado con estos resultados de análisis químicos, se puede observar que el empleo del reactivo surfactante EVD 57476 reporta la mejor recuperación de oro (prueba N° 2- 76.5% Au) seguido de la prueba N° 3 (EVD (P) 40112 – 43.6% Au) y de la prueba en blanco o referencial (prueba N° 1 – 37% Au).

Tabla N°2.15 : Extracción de Au y Ag en los contenedores

Columna	Surfactante	Ley Cabeza (gr/t)		Ley de Relave (g/t)		Recuperación (%)	
		Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
1	Blanco	1.999	50.4	1.244	33.94	37.77	32.66
2	EVD 57476	1.999	50.4	0.469	22.63	76.54	55.10
3	EVD(P)40112	1.999	50.4	1.128	49.37	43.57	2.04

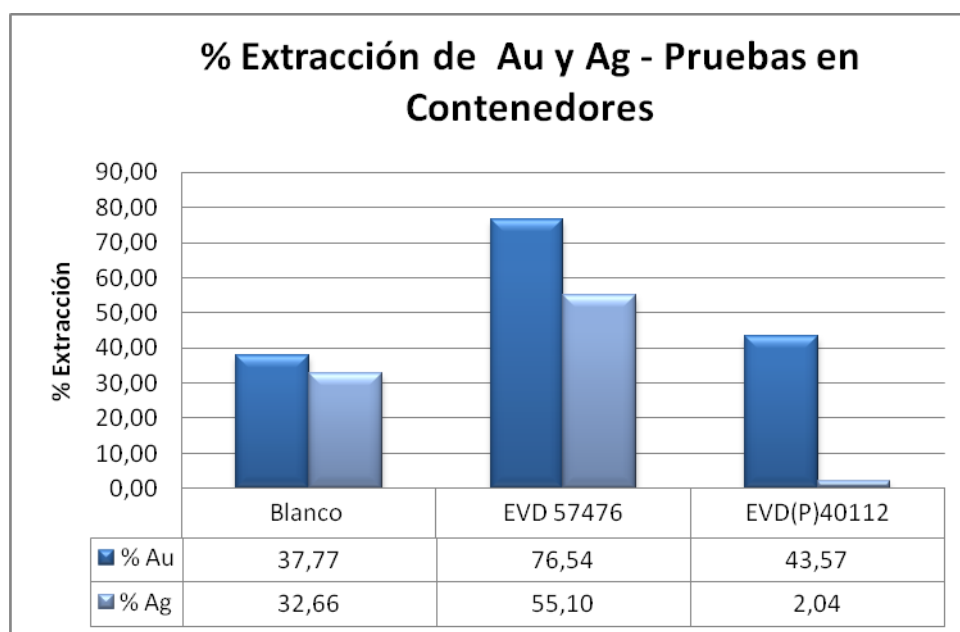


Gráfico N° 2.9 : Extracción de Au y Ag en las Pruebas en contenedores

### **CAPITULO III**

#### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL – PAD INDUSTRIAL**

Después de llevar a cabo la evaluación en columnas y contenedores, el mejor resultado se obtuvo con el Surfactante EVD-57476, prosiguiendo con la evaluación de este reactivo, aplicado al proceso de cianuración de minerales de oro, se realizó una prueba industrial en el PAD N° 0 (Cap. 657.42 TM) de la Cía. Minera Nueva California. En esta prueba se empleo el sistema de riego por goteo y la recuperación del oro se hizo mediante la combinación de dos sistemas: Sistema M&C (precipitación con polvo de zinc) y Adsorción en columnas de Carbón Activado.

El objetivo de esta prueba es continuar evaluando la capacidad del reactivo de mejorar los siguientes parámetros del proceso de cianuración en pilas:

- a) Mejorar la cinética de lixiviación y extracción de oro,
- b) Reducir el consumo de cianuro.

Con la finalidad de evaluar la performance de este reactivo se tomo como referencia los PAD N° 04 y PAD N° 06, que son pads standards.

### 3.1 Procedimiento de la Prueba:

La prueba se desarrollo en el PAD N° 0, con 657.42 TM de mineral aurífero, las etapas de preparación, antes de empezar el regado del Mineral, fueron:

**Chancado del mineral.-** Se chancó mineral en 6 días, este se iba acumulando en el PAD N°02. Este mineral recibió su primer curado en la faja que lo transporta de la chancadora hacia el PAD N° 02 con una concentración de cianuro de 3-4% aprox.

**Carguío del Mineral.-** En el segundo día de chancado se fue trasladando el mineral del Pad N° 02 hacia el PAD N°0, donde se fue acomodando el mineral con la pala mecánica.

**Curado del Mineral.-** El mineral estuvo en reposo por 4 días, La solución con la que se curó el mineral tuvo las siguientes características:

- Volumen de Solución de Curado : 11 m<sup>3</sup>
- Concentración de reactivo EVD- 57476  
(Solución de Curado) : 60 ppm
- Tensión Superficial (solución curado) : 37.27 dinas/cm
- % CN<sup>-</sup> : 0.143
- pH : 11
- Ley de Au (gr/TM, solución de curado) : 0.13
- Ley de Ag (gr/TM, sol. Curado) : 0.37
- Del Mineral de cabeza :

Ley de Au (gr/TM)	: 3.03
Ley de Ag (gr/TM)	: 55.8

**Etapas de Lixiviación.-** Terminado el curado se procedió a colocar el sistema de riego por goteo y se inicio la lixiviación en el Pad N° 0. Las cintas (o mangueras) de riego tuvieron una separación entre si de 40 cm y la separación entre goteros fue también de 40 cm.

**Los parámetros de riego fueron:**

Rate de Riego (lt/hr m <sup>2</sup> )	: 10
Concentración de reactivo EVD- 57476	: 30 ppm
% CN -	: 0.143
pH	: 10.5 – 11

**Precipitación con Polvo de Zinc.-** Mientras la Solución Rica mantuvo lecturas de oro altas (mlgr/lt Au > 0.4) fue enviada al proceso de Merrill & Crowe (Precipitación con polvo de Zinc) . Se realizó dos precipitaciones por día dado que la poza en la que se acumulaba la Solución Rica tenía un tope de 30 metros cúbicos , se reunía de 25 a 28 metros cúbicos y se enviaba a M&C.

**Adsorción con Carbón Activado.-** Cuando las leyes de Oro en la solución rica alcanzaron valores por debajo de 0.4 mg/lt, fueron enviadas a las Columnas de Carbón Activado (por 5 días ). Terminado el periodo de 5 días se procedió a lavar el Pad, los primeros dos días de lavado se realizo con solución cianurada y los dos siguientes días fue sólo con agua, ambas soluciones fueron pasadas por carbón activado.

**Pads de Referencia.-** Los Pads que se usó como referencia fueron los PADS N°04 y el N° 06.

**PAD N° 06.-** Se empezó a regar el PAD (170 m<sup>2</sup>) el día 09 de Abril, con un tonelaje de 684.39 TN y una ley promedio de 3.68 gr/TN de Oro. El Sistema de riego usado es por aspersión con un rate de riego promedio de 12.78 l t /hr m<sup>2</sup>.

La solución rica aportó 20 días al Pozo AB, que pasa directamente al proceso de Merrill & Crowe, hasta que la ley se encontraba en 0.31 gr/TM. Luego de eso el PAD dejó de aportar al pozo AB y pasó al Pozo C, hasta que la ley llegó a 0.18 gr/TM en 22 días, donde se dejó a orear el PAD. El Consumo de Cianuro de este PAD N°06 alcanzó 1.028 Kg CN/TM.

**PAD N° 04.-** Se empezó a regar el PAD (170 m<sup>2</sup>) el día 17 de Abril , con un tonelaje de 621.94 TM y una ley promedio de 3.22 gr/TM de Oro. El sistema de riego fue aspersión con un rate de 12.5 lt /hr m<sup>2</sup>.

La solución rica aportó 26 días al Pozo AB, hasta que la ley era mayor que 0.35 gr/TM y pasaba a Merrill & Crowe .Cuando el PAD se encontraba bajo esta ley pasó al Pozo C donde antes que vaya M&C era mezclada con PADS que recién se inician para que la ley que pase sea mayor y puedan controlar la Solución de salida. El PAD N° 04 trabajó un total de 36 días en el transcurso de ese tiempo el consumo de Cianuro fue de 1.05285 Kg CN/TM.



### 3.2. Resultados de la Prueba :

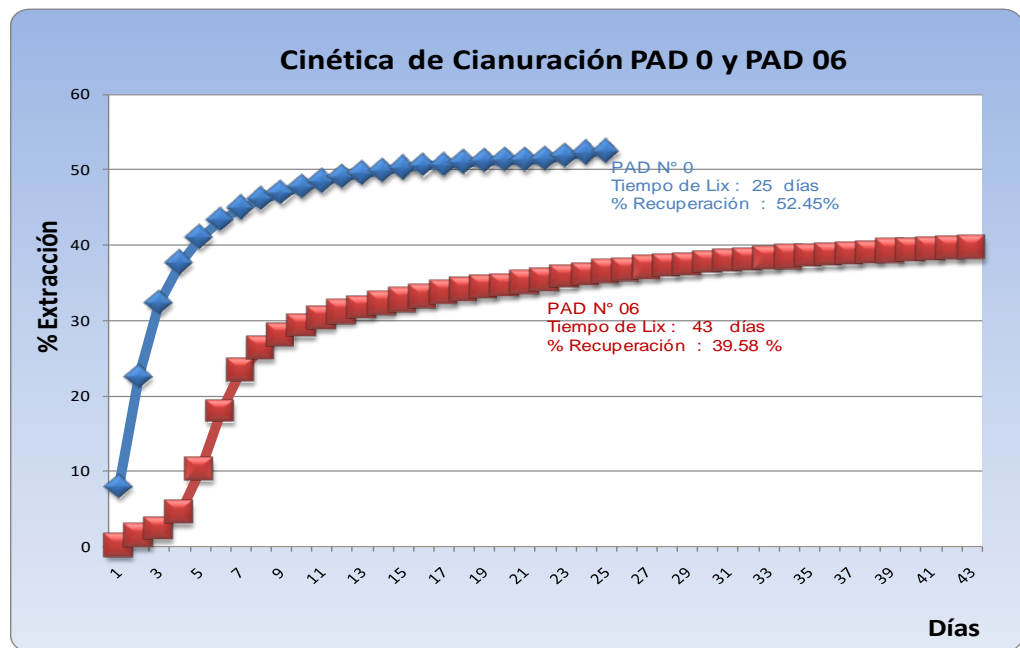


Gráfico N° 31: Cinética de la Extracción teniendo como referencia el PAD N° 06

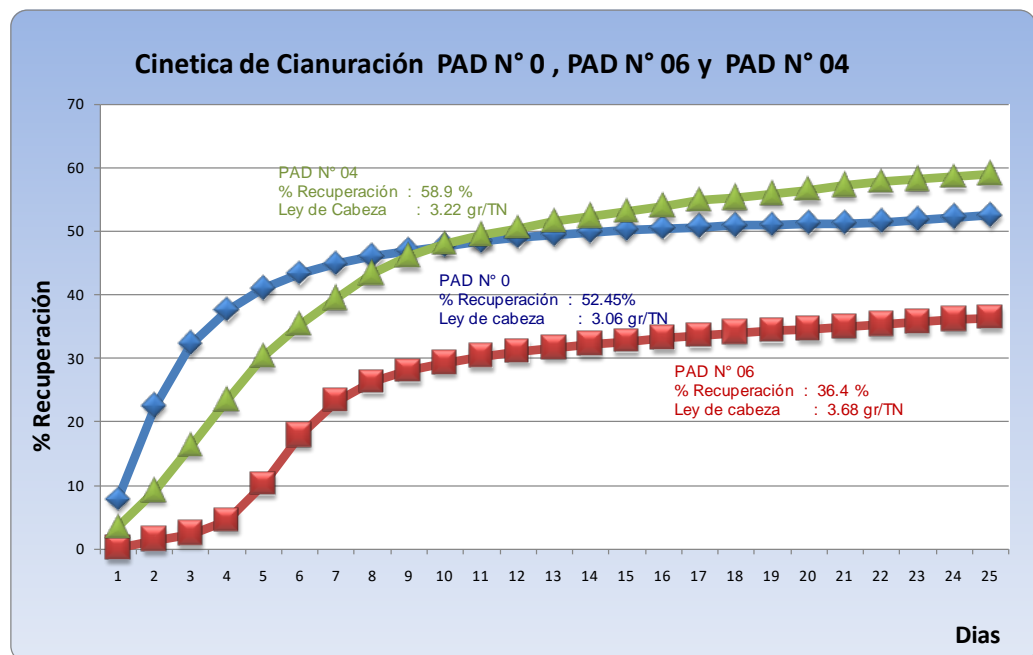


Gráfico N°32: Cinética de Extracción teniendo como referencia los PADS 04 y 06

De la gráfica N° 3.2 se observa:

	LEY DE CABEZA	DIAS DE	%
	Au (g/t)	CIANURACION	EXTRACCIÓN
PAD N° 0	3.06	25	52.45
PAD N° 06	3.68	43	39.58

Con menos días en el proceso el PAD N° 0 obtuvo mayor extracción.

En la gráfica N° 3.2 si se colocara las tres curvas del PAD N° 0, 4 y 6. Se puede observar que la cinética de la curva de color azul que indica el PAD N° 0, tiene mayor cinética al inicio de las operaciones, a pesar de tener una ley de cabeza menor que los otros PADS.

#### **Extracción de Oro - Merrill Crowe – Carbón Activado:**

En la etapa de Lixiviación el PAD N° 0, logró una extracción de 59.31% en oro, la solución rica es enviada luego a los procesos de recuperación (Merrill Crowe, Carbón Activado).

La Recuperación alcanzó 47.78% de Oro y 16.58% de Plata, en 13 días, tiempo en el cual la Solución Rica había bajado de (7 a 0.42) gr/TN y ya no convenía seguir pasando por Merrill Crowe (MC).

- Ley Au promedio de ingreso a M & C : 2.0 (gr/TM)
- Ley Au promedio de salida de M & C : 0.130 (gr/TM)
- Eficiencia promedio de M & C (Au) : 88.53%
- Ley Ag promedio de ingreso a M & C : 12.168 (gr/TM)
- Ley Ag promedio de salida de M & C : 0.450 (gr/TM)
- Eficiencia promedio de M & C(Ag) : 95.27%

La adición del reactivo Surfactante EVD- 57476 no ocasionó ningún problema en el normal funcionamiento del sistema de Merrill & Crowe, e incluso al presentar la solución rica mayor claridad mejora el trabajo de los filtros clarificadores.

Al inicio de la prueba, al pasar la solución rica por M&C no se añadió la cantidad adecuada de polvo de zinc y la eficiencia ya no pudo seguir aumentando aunque luego se empleara una mejor cantidad de zinc, ya que la solución rica empezó a decaer en el contenido de oro y a subir el contenido en la solución de salida, entonces la eficiencia iba bajando también.

### **Adsorción con Carbón Activado**

Cuando la Solución Rica alcanzó una ley de 0.42 gr/TM, se dejó de pasar por M & C y se envió la solución rica a las columnas con Carbón Activado, (2 columnas, de 300 kilos de carbón activado c/u);

- Ley Au promedio de ingreso a Columnas de C.A. : 0.29 (gr/TM)
- Ley Au promedio de salida de Columnas de C.A. : 0.04 (gr/TM)
- Eficiencia promedio de adsorción en columnas de C.A. (Au) : 86.51%
- Ley Ag promedio de ingreso a Columnas C.A. : 2.60 (gr/TM)
- Ley Ag promedio de salida a Columnas C.A. : 0.25 (gr/TM)
- Eficiencia promedio de Adsorción en Columnas C.A. (Ag) : 89.56%

Como se observa comparado con el Proceso Merrill Crowe el Carbón logra recuperar mas pues las lecturas de las Soluciones Barren son más bajas en Carbón que en el Merrill Crowe (0.04 y 0.13 ) respectivamente .

### Consumo de Cianuro – Comparativos PADS N° 0,4 y 6:

A continuación se presenta el consumo efectuado por el PAD N° 0, y se ha tomado el gasto de los PADS N° 04 y N° 06 para compararlos (información de planta):

Tabla N° 3.1: Consumo de Cianuro en los Pads

Pad N°	Consumo NaCN (Kg/TM)	% Con respecto al Pad N°0
0	0.7528	100
4	1.053	139.9
6	1.0289	136.7

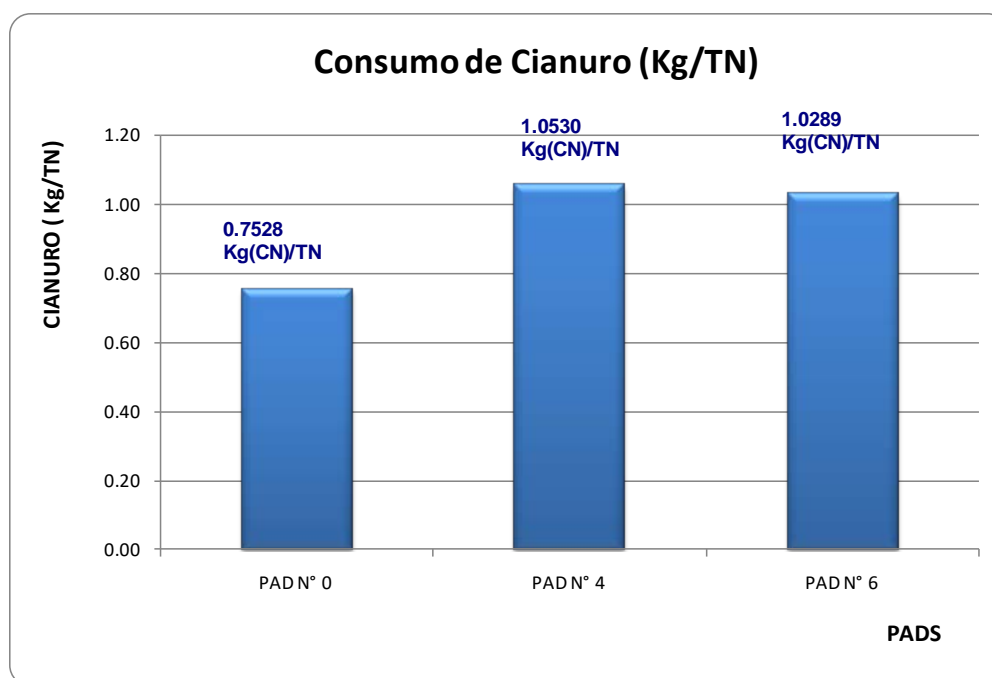


Gráfico N° 3.3 : Consumo de Cianuro en los Pads

### Consumo del EVD- 57476 / Gráfica TS :

El consumo del reactivo evaluado (EVD-57476) fue **58.81 gr/TM**.

## CONCLUSIONES

1. En las pruebas de columnas y contenedores, se corrieron dos tipos de pruebas:
  - a.- En Contenedores (Hoover – 1300 Kg)
  - b.- En columnas (560 Kg)

En las pruebas de circuito cerrado no se empleo columnas de carbón activado.

El mineral empleado en todas las pruebas partió de una sola muestra (+/- 10 TM). Para el control de la Tensión Superficial de las soluciones de cianuración se empleo el equipo The K6 Tensiometer Marca Kruss.

2. En ambos set de pruebas (Contenedor y Columnas) la aplicación de alguno de los reactivos surfactantes EVD permitió reducir el consumo de cianuro de sodio en el proceso de solubilización del oro, siendo el porcentaje de reducción de consumo mínimo de 14 % pudiendo ser este mayor.
3. Los resultados obtenidos en las pruebas en contenedores (1300 Kg), confirman la tendencia a que con el empleo del reactivo surfactante EVD 57476 se va a obtener mayores recuperaciones de oro (Recuperaciones > 4% con respecto al estándar o blanco).

4. En las pruebas en Columnas (560 Kg), los reactivos surfactantes que presentan una mejor tendencia a obtener mayores recuperaciones de oro, con respecto a una prueba en blanco, son los surfactantes EVD (P) 40104 y EVD (P) 50106, pero no son tan buenos como los obtenidos con el EVD-57476.
5. La cinética de cianuración en circuito cerrado y abierto, realizados en columnas, tal cómo se puede observar el reactivo EVD(P) 40104 es el que mejor comportamiento cinético presenta, seguido de los reactivos EVD(P) 50106 y EVD(P) 50105. De haberse aplicado un sistema abierto desde el inicio en estas pruebas, seguramente se hubieran obtenido resultados más interesantes.
6. El consumo de Surfactante es menor en las columnas que en los Contenedores porque en las columnas se probó en algunas adiciones 10, 15 y 20 ppm. En los Contenedores desde el inicio se trabajo con la concentración de 30 ppm. En resumen el consumo de surfactante debe fluctuar entre 30 y 70 gr/TM para este tipo de mineral.
7. Con las pruebas de columnas y contenedores se obtuvo como el mejor resultado el EVD-57476, el cual obtiene mejores resultados en las extracciones de oro y plata y menos consumo de cianuro en el proceso , por esa razón al evaluar ya en una etapa industrial se eligió este reactivo , con las pruebas a nivel industrial , se obtuvieron las sgtes. Observaciones:

Se corrió la prueba en PAD industrial de 657.42 TM y con Sistema de Riego por Goteo.

- Se llevó a cabo un control de Tensión Superficial con el equipo The K 6 Tensiometer Marca Kruss.
- En el Consumo de Cianuro se observó un 27 % menos en el PAD que tenía Surfactante.

Los resultados obtenidos en PAD INDUSTRIAL de (657.42 TM). muestran la tendencia que con el reactivo surfactante EVD 57476 se va a obtener mayores recuperaciones de oro ( >5% según el blanco) en este caso el PAD N° 06.

8. La cinética de cianuración en el PAD, se puede ver en los gráficos de las pruebas se puede distinguir que la cinética de Lixiviación del PAD que tiene surfactante es mucho mayor que el de los otros PADS.
9. En conclusión podríamos decir que la adición de reactivos surfactantes cumple con disminuir el consumo de cianuro, mejora la cinética de cianuración y extracción de oro y plata.

## BIBLIOGRAFIA

1. ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES – VENEZUELA , Cuaderno FIRP S300A Surfactantes Tipos y Usos, 2002
2. ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES – VENEZUELA , Cuaderno FIRP S311A - El mundo de los surfactantes , 2002
3. BASF- Copyright 2004,Manuales de productos BASF
4. GILBERT W. CASTELLAN ,Fisicoquimica
5. HON MARSDEN – IAIN HOUSE , The Chemistry of Gold Extraction, 2004
6. ESTEBAN M DOMIC , Hidrometalurgia, 2001



## ANEXO 1

**GLOSARIO DE TERMINOS**

**ACEITE** Aceite vegetal o animal, compuesto de triglicéridos, es decir, triésteres de Ácidos Grasos.

**ACIDOS GRASOS** En términos generales "Fase orgánica" con carácter no-polar, en oposición al "agua".

**ACIDOS GRASOS** Ácidos carboxílicos con número par de átomos de carbono, que se encuentran en los TRIGLICERIDOS de los aceites y grasas naturales.

Generalmente entre 10 y 20 átomos de carbono, con cadena lineal saturada o insaturada, y con el grupo carboxílico en la extremidad. Las sales se llaman JABONES.

**ACTIVA (MATERIA)** Cantidad de surfactante presente. **ADSORCION** 1) fenómeno de acumulación bidimensional de una sustancia en una superficie o interfase. Se diferencia de ABSORCION, la cual corresponde a la transferencia de masa hacia el seno de una fase (tridimensional). 2) Se dice de la concentración superficial de surfactante o sustancia adsorbida (unidad típica: mol/unidad de área).

**AEROSOL** Suspensión de muy finas partículas (de tamaño coloidal) en un gas, por ejemplo: humo.

**ALQUIL** Grupo hidrocarbonado de tipo alcano (saturado) susceptible de fijarse por sustitución electrofílica sobre un núcleo aromático. Los agentes de Alquilación contienen en general un grupo reactivo (doble enlace, cloruro).

**ALQUILACION** Reacción de unión de un grupo alquil sobre un núcleo aromático o un doble enlace. Reacción de Friedel-Crafts.

**ALQUILATO** Se dice de la sustancia resultante de la reacción de alquilación. En general Alquil benceno o semejantes.

**ANFIFILO** Textualmente "que es amigo de ambos lados". Se dice de una sustancia o de una molécula que posee una doble afinidad polar/no-polar.

**ANIONICO** Que se disocia en agua para formar un ion surfactante (SURFACTANTE) cargado negativamente. Por ejemplo: jabones, sulfatos, sulfonatos.

**ANTI(RE)DEPOSICION** Sustancia que se combina con las partículas de grasa o (AGENTE) sucio y las mantiene dispersadas en la solución acuosa. Su propósito es evitar la re-deposición del sucio removido durante el lavado.

**ANTIESPUMANTE** Surfactante capaz de desestabilizar las espumas.

**ANTIESTATICO** Sustancia que al adsorberse, elimina las cargas eléctricas, y por lo tanto los fenómenos de atracción o repulsión electrostáticas. Por ejemplo: surfactantes catiónicos, enjuagues.

**CATIONICO** Que se disocia en agua para formar un ion surfactante (SURFACTANTE) cargado positivamente. Por ejemplo: cloruro de piridinio. CMC

1) Concentración Micelar Crítica. Concentración mínima para que el surfactante forme agregados llamados "micelas", los cuales son responsables de las propiedades de solubilización y de detergencia.

2) Carboximetil celulosa, agente viscosante y antiredeposición.

**CRISTAL LÍQUIDO** Estructura organizada que tiene ciertas características de un cristal (orientación, propiedades ópticas...) pero que puede deformarse Fácilmente como un líquido.

**DEMULSIONANTE** Surfactante cuya función es desestabilizar o romper una EMULSION

**DESORCION** Fenómeno inverso de la ADSORCION

**DETERGENTE** Conjunto de sustancias usado para remover el sucio de ropa, metales, etc...Contiene en general uno o varios surfactantes y otros productos: mejoradores, suavizadores, blanqueadores, agentes antideposición, secuestrantes, perfumes, colorantes, enzimas, hidrótopos, sales inorgánicas...

**DIGLICERIDO** Diester del GLICEROL, el cual tiene un grupo OH sin esterificar.

**DISPERSION** Sistema polifásico, en general sólido-líquido de fase líquida continua. Se usa también para EMULSIONES no-estables.

**EMULSION** Sistema difásico relativamente estable compuesto de dos líquidos inmiscibles: uno en forma de gotas (fase interna o discontinua), dispersadas en el otro (fase externa o continua). Se usan los símbolos con iniciales inglesas O/W y W/O.

**EMULSIONAR** Acción de fabricar una EMULSION

**EMULSOR** Aparato con el cual se fabrica una EMULSION.

**EMULSIONANTE** Surfactante cuya función es facilitar la formación de una EMULSION (bajando la tensión) y estabilizarla

**ESPUMA DISPERSION** relativamente estable de un gas en un líquido. Típicamente el contenido de gas es del orden de 90-95%, pero puede ser menor en espumas alimenticias o solidificadas.

**ESPUMANTE** Agente capaz de estabilizar una espuma, especialmente las películas entre burbujas.

**EPOXI-** Prefijo que indica la presencia en la molécula de un puente éter entre dos átomos de carbono vecinos. Este ciclo, cuyo ejemplo más simple es el óxido de etileno, es extremadamente inestable.

**ETOXI-** Prefijo que indica que la molécula posee uno o varios grupos óxido de

etileno en forma de cadena polieter.

**FOSFOLIPIDO** Diglicerido de ACIDOS GRASOS, con el tercer OH esterificado con un grupo fosfato. Son los componentes estructurales de las MEMBRANAS.

**GEL** Estructura isotrópica o anisotrópica en la cual ciertas sustancias (polímeros, surfactantes polielectrolitos) producen la formación de redes tridimensionales que resultan en una reología casi sólida.

**GRASAS** Sustancias naturales de origen animal o vegetal (sólidas) tales como la manteca de tocino o el sebo. Es una fuente principal de triglicéridos.

**HIDROFILO (-FILICO)** Textualmente "amigo del agua". Se dice de una sustancia o de un grupo funcional que posee una afinidad predominante para el agua.

**HIDROFOBO (-FILICO)** Textualmente "enemigo del agua". En el contexto de los surfactantes es idéntico a LIPOFILO. Se dice también de sustancias que repelen el agua.

**HIDROTOPO** Textualmente "volver acuoso". ANFIFILO extremadamente hidrofílico como el tolueno sulfonato. No es un SURFACTANTE, pero se usa como agente que facilita la disolución de los surfactantes en formulaciones.

**INHIBIDOR de CORROSION** Sustancia que al adsorberse sobre un sustrato metálico reduce la corrosión.

**INTERFASE** Límite entre dos fases condensadas. Se usa a veces diferentemente por SUPERFICIE.

**LIGNINA** Compuesto no-fibroso de la madera. Polímero tridimensional del grupo guaiacil (3-hidroxi-4-metoxi-fenil-propano).

**LIGNOSULFONATO** Sustancia obtenida como subproducto de la producción de pulpa de papel por el proceso al sulfito.

**LIPOFILO, -FILICO** Textualmente "amigo del sebo". Se dice de una sustancia o de un grupo funcional que posee una afinidad predominante para el "sebo" y por extensión para las sustancias no-polares denominadas en forma general ACEITES.

**LINEAL (CADENA)** Cadena hidrocarbonada sin ramificación, es decir sin carbono terciario. se aplica a olafinas, parafinas, alquilatos y otros compuestos. Se usa también el prefijo "n-" o normal.

**LUBRICANTE** Sustancia que produce una lubricación, es decir que disminuye el roce entre dos sólidos, dos fibras... Además de los aceites lubricantes industriales existen lubricantes para hilar fibras textiles, para el cabello (lanolina), etc. Una propiedad importante es que se adsorbe sobre el sustrato. En consecuencia algunos ANFIFILOS son lubricantes.

**MICELA** Compuesto de agregación de varias moléculas de SURFACTANTES (100-500). Según la orientación se habla de "micela" o de "micela inversa". Las micelas son responsables de las propiedades de solubilización y de la detergencia. Aparecen a partir de la Concentración Micelar Crítica (CMC).

**MONOGLICERIDO** Monoéster del GLICEROL, el cual tiene dos grupos OH libres sin esterificar.

**RAMIFICADO (CADENA)** Una cadena ramificada es una estructura hidrocarbonada con carbonos terciarios. Se aplica a olefinas, parafinas, alquilatos, etc... Se usa también el prefijo "iso-".

**ROSIN OIL** Aceite extraído de sustancias resinosas secretadas por plantas y árboles. Contiene polímeros con grupos carboxílicos.

**SOL** Suspensión de finas partículas coloidales en una fase líquida.

**SUAVIZADOR** Sustancia que confiere a la ropa a al pelo un contacto más suave.

En general son agentes ANTIESTATICOS y/o LUBRICANTES

**SUPERFICIE** Límite entre una fase condensada (sólido, líquido) y un gas. Se usa a veces como término genérico para INTERFASE.

**SURFACTANTE** Sustancia que tiene una actividad superficial o interfacial. Los ANFIFILOS son surfactantes cuando sus afinidades polar y no-polar están más o menos equilibradas.

**SUSPENSION DISPERSIÓN** relativamente estable de un sólido en un líquido. La estabilidad se refiere a la sedimentación y a la floculación.

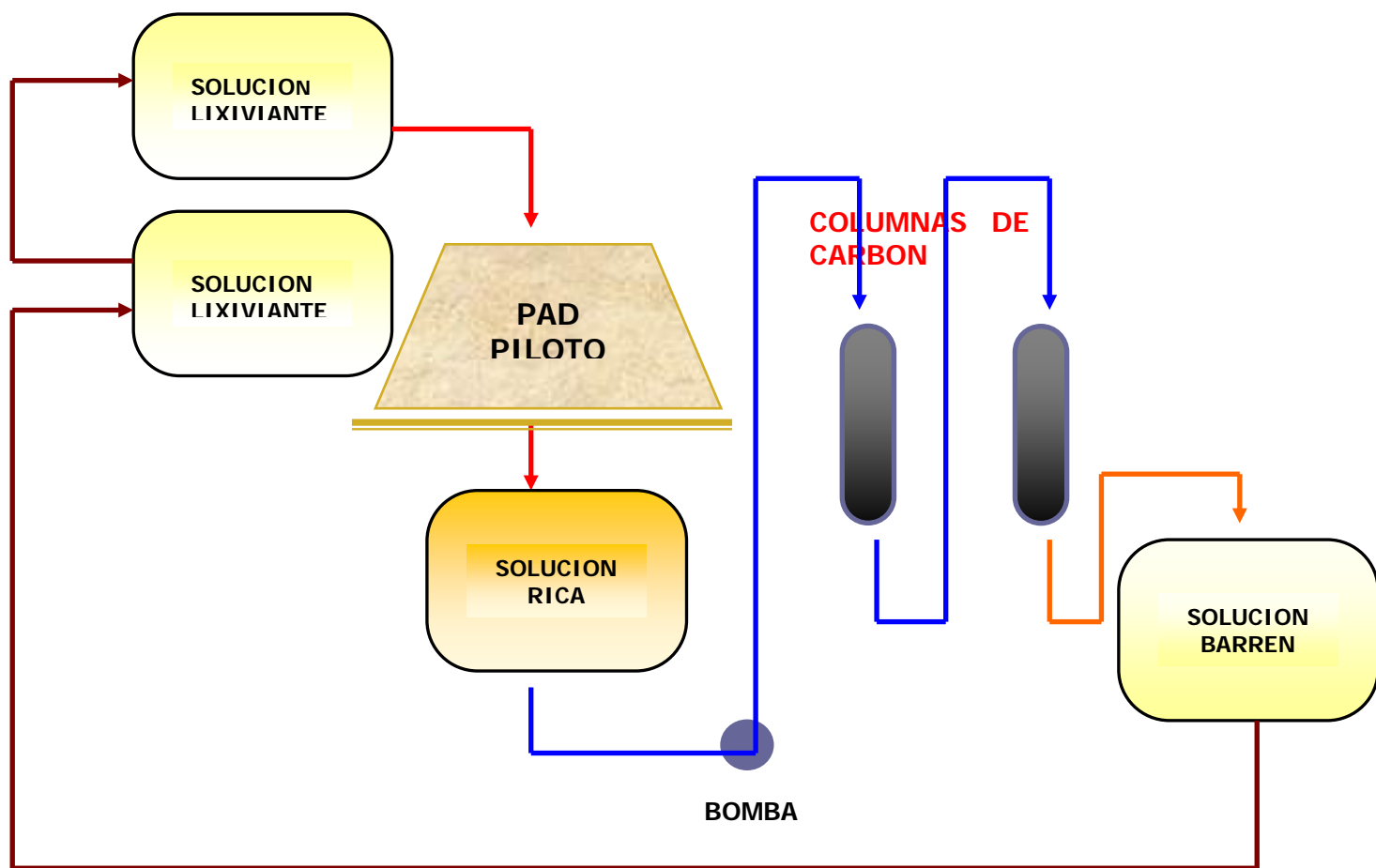
**TALL OIL** De la palabra sueca "Tall", pino. Aceite extraído de plantas lignosas, compuesto de ésteres de ACIDOS GRASOS y otros ácidos carboxílicos (ácido abiético).

**TENSOACTIVO** Sustancia capaz, al adsorberse en la superficie o interfase, de afectar (reducir) la TENSION SUPERFICIAL.

**TRIGLICERIDO** Triéster del GLICEROL con tres ACIDOS GRASOS. Son los compuestos principales de los ACEITES y GRASAS naturales.

## ANEXO II

## DIAGRAMA DE FLUJO PRUEBA NUEVA CALIFORNIA



## **Riego por Goteo y Sistema de Drenaje – Nueva California**

### **Introducción**

Ante la necesidad de incrementar la recuperación de oro y plata en las pilas de lixiviación, nos vemos en la necesidad de innovar el sistema de riego por microaspersión actualmente utilizado, por el sistema de riego localizado mediante el uso mangueras con goteros integrados de bajo caudal, asimismo por el lado del sistema de drenaje, rediseñar los drenes de manera tal que la solución lixivante sea colectada de una manera mas eficiente.

### **Objetivos**

- Incrementar la recuperación metalúrgica en el proceso de lixiviación, mediante la aplicación de un sistema de riego por goteo.
- Diseñar un sistema de drenaje funcional, que permita colectar la solución pregnant de manera más rápida y eficiente.

### **Sistema de Riego por Goteo**

#### **Características**

El sistema de riego esta diseñado en función a la utilización de mangueras (diámetro:16mm) con goteros integrados de bajo caudal (Q nom. 2l/h ).

El marco de riego que se plantea es 40 cms x 40 cms, es decir: 40cms entre laterales de riego y 40 cms centímetros entre goteros.

El flow-rate esta calculado en función al caudal de 2l/H nominal de cada gotero y a la presión dentro del sistema. A 13 PSI, el flow-rate será de 12. 5 l/hr/mt2 aprox. y a 10 PSI será de 10 l/hr/mt2. El sistema no debe tener presiones inferiores a 8 PSI, ya que esto provocaría taponamiento y estaría propenso ala formación de costras de carbonatos dentro de las mangueras.



La matriz o tubería de cabecera será de material de PVC de 3", el cual contara con un manómetro que se ubicara en la entrada del sistema.+

### **Consideraciones**

Se debe de realizar purgas en el sistema diariamente, para evitar el taponamiento prematuro de los goteros, debido a que la solución lixiviante no dispone de un sistema de filtrado

Se debe graduar la presión diariamente para lograr mantener un Flowrate constante a lo largo del ciclo de lixiviación.

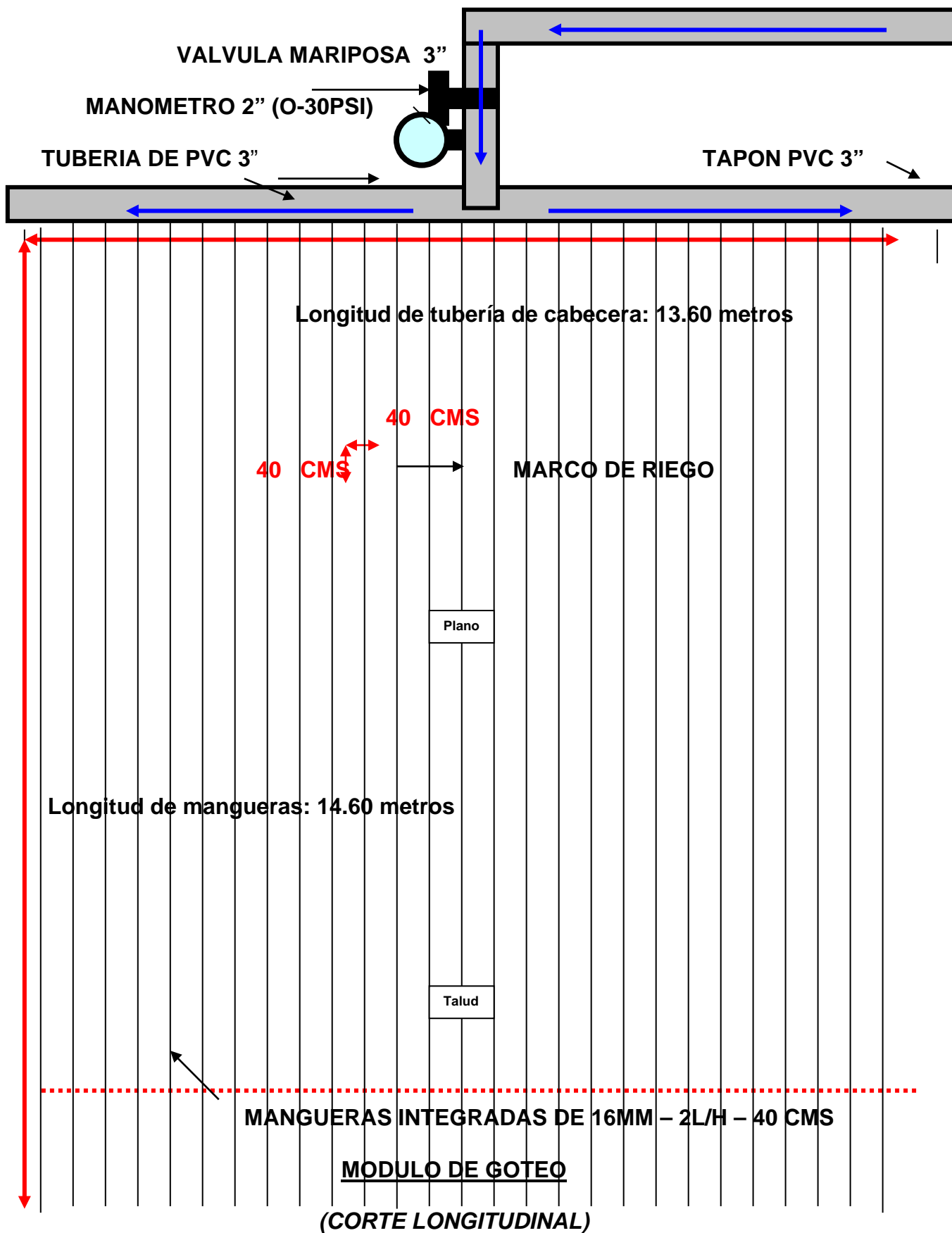
Evitar todo tipo de fugas en los conectores iniciales y en los acoples manguera-manguera.

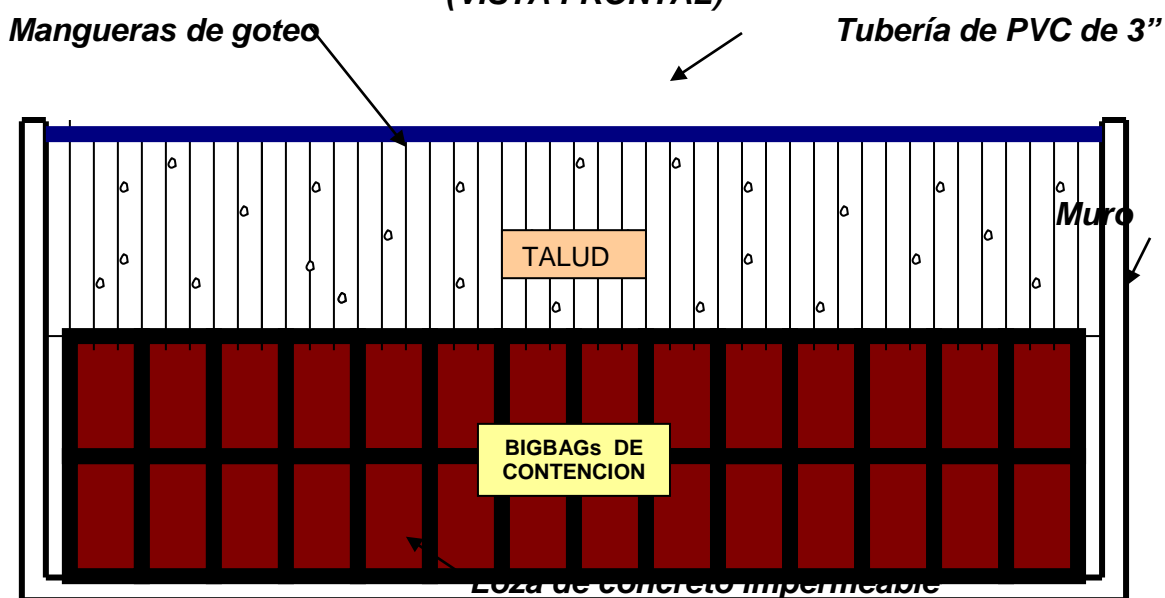
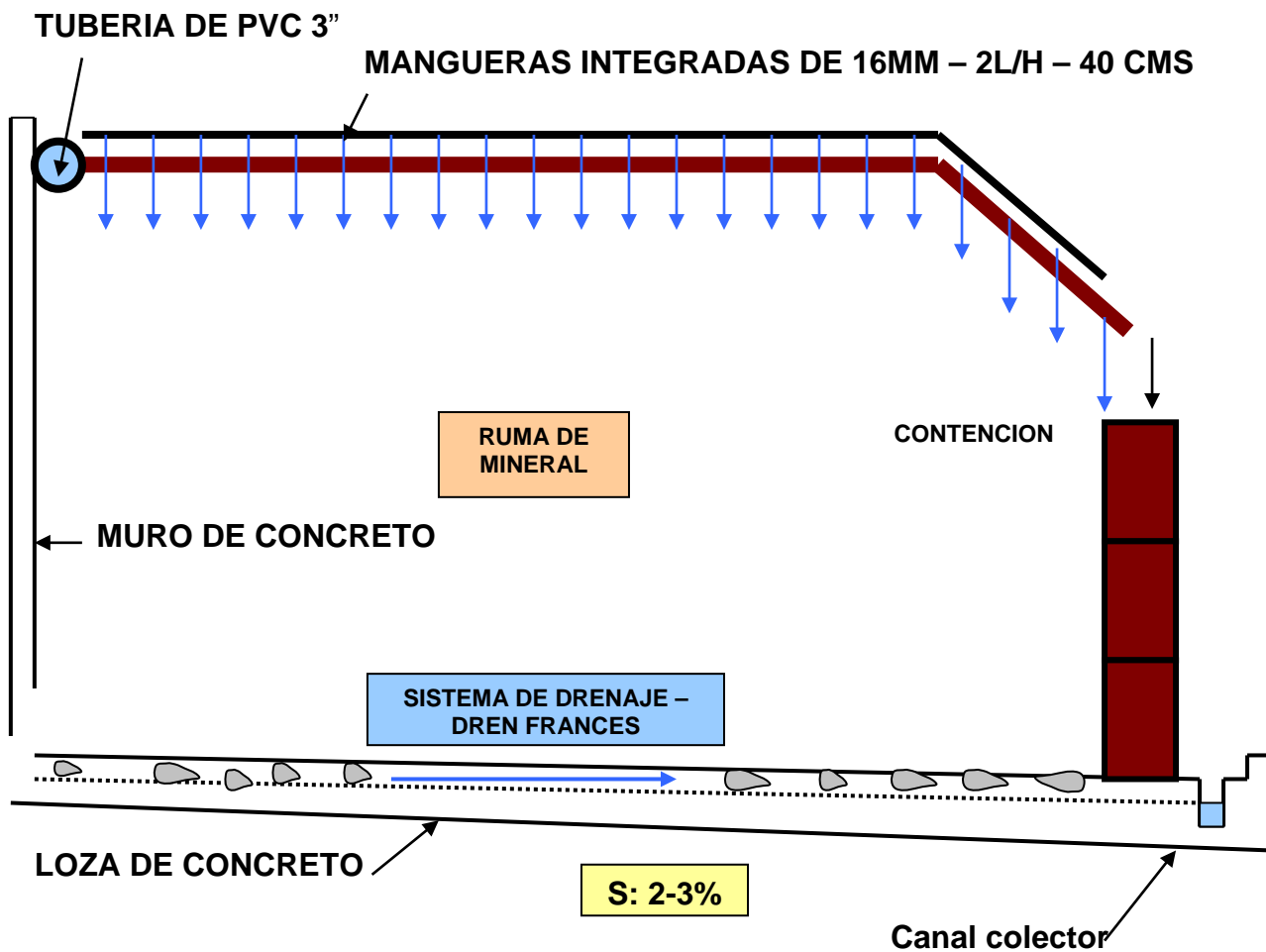
### **Materiales a Utilizar**

- 500 metros lineales de manguera 16mm con goteros de 2l/H, cada 40 cms.
- 50 conectores iniciales de 16mm con su jebe (o-ring) respectivo.
- 50 terminales tipo 8 de 16mm.
- 50 uniones manguera – manguera de 16mm.
- 15 mts. Tubería de PVC de 3" clase 10.
- 01 Tee de PVC 3" x 3" x3".
- 02 Tapones de PVC 3".
- 01 Reducción de 3" a 2"
- 01 Manómetro de 2" rango de 0-30 PSI.
- 01 Válvula Mariposa de 3"

\* Para la perforación de la tubería se necesitara un taladro y una broca de 5/8", asimismo para la colocación de los conectores iniciales contar con cintas de teflón.

**Esquema de Instalación del sistema de Riego por Goteo**





Sistema de Drenaje

El sistema de drenaje planteado para el diseño del pad será del tipo dren francés, mediante una distribución tipo espina de pescado.

Dentro del área de 200 metros cuadrados aproximadamente se construirían 2 espinas de pescado dispuestas de manera tal que sean equidistantes y concéntricas al área de la superficie base del pad. Para poder construir el dren francés, se necesitará de realizar un relleno con piedra de 3" mas un vaciado de concreto de 2" (mínimo), en total se necesitara de una elevación de 5" aproximadamente respecto a la superficie de la losa ya existente.

La pendiente de la nueva superficie será de 3%, para lograr un drenaje más rápido de la solución.

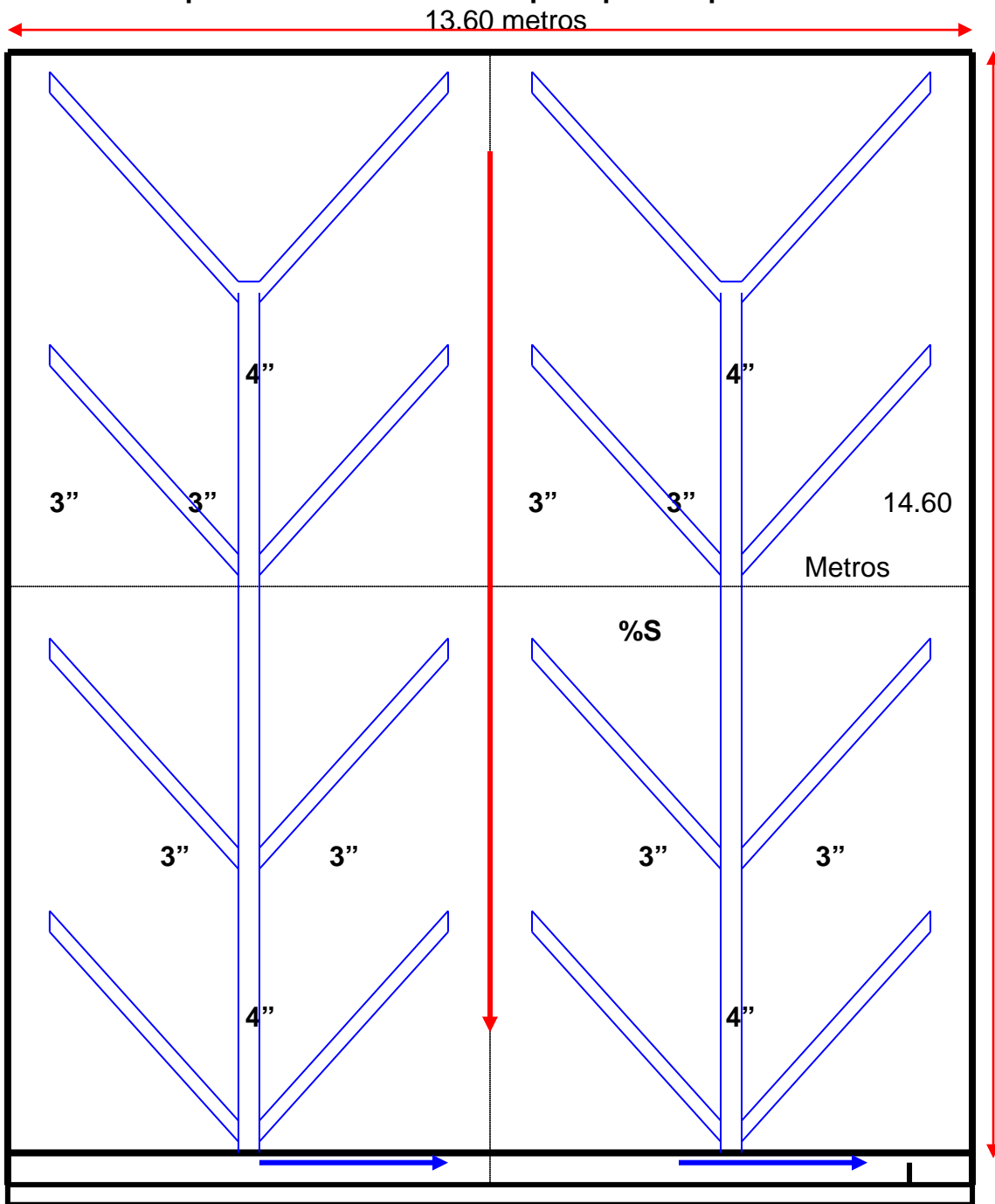
En la construcción de las canaletas en forma de "espina de pescado", los ramales laterales tendrán un ancho de 3" y una profundidad de 3" y en las troncales el ancho será de 4" y una profundidad de 3".

Las canaletas serán rellenas con material grueso de 2" de diámetro promedio, para luego ser cubiertos por una malla tipo geotextil que cumplirá la función de evitar el arrastre de finos dentro del sistema de drenaje.

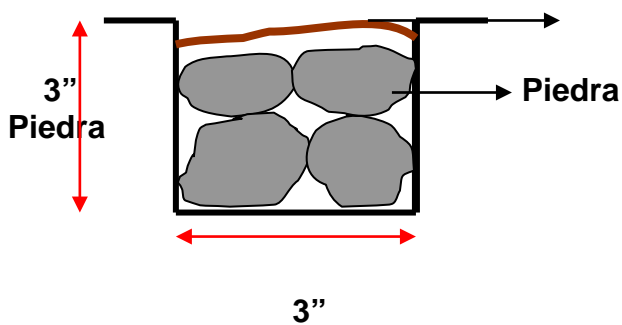
### **Materiales a utilizar**

- 20 metros cúbicos de piedra de 3"
- 15 metros cúbicos de arena gruesa
- 50 bolsas de cemento ( de preferencia tipo V)
- 100 Metros de madera de 5" de ancho para encofrado
- 1 rollo de alambre de 1/16 "
- 10 kilos de clavos de 2 ½"

### Sistema de Drenaje Esquema de la distribución tipo espina de pescado



#### Detalle del Dren Francés



#### Malla

