

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y
METALÚRGICA**



***“ESTUDIO DE LOS AGENTES ANTI-INCRUSTANTES: PBA EN EL
PROCESO MERRIL CROWE EN LA OPERACIÓN DE CIANURACIÓN POR
PILAS”***

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

LOPEZ TRUJILLO, VICTOR RAFAEL

LIMA - PERU

2009

AGRADECIMIENTOS

Primero quisiera dar gracias a Dios, por haber iluminado mi camino durante toda mi vida, agradecer a mis Padres Víctor y Flor de María por darme su apoyo y amor incondicional, a mis hermanas Verónica y Gisela por ser buenos ejemplos en mi vida.

También quiero agradecer a Victoria por estar a mi lado y darme la fortaleza necesaria para alcanzar todas mis metas.

Finalmente a mis amigos y profesores de la universidad que a través de su amistad y enseñanzas me han permitido desarrollarme como un buen profesional.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO I	11
ASPECTOS GENERALES.....	11
1.1. Descripción de las Operaciones.	11
1.2. Descripción de la Planta.	11
1.2.1. Sección de Cianuración o Lixiviación.	11
1.2.2. Sección de Merrill Crowe.	12
1.2.3. Parámetros de operación.....	13
CAPÍTULO II	15
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	15
2.1. Anti-Incrustante - Definición.....	15
2.2. Anti-Incrustante PBA.	15
2.2.1. Descripción del Anti-incrustante PBA.	16

2.2.2. <i>Propiedades físicas y químicas del PBA – 1 y PBA – 2</i>	17
2.2.3. <i>Mecanismo de acción para la inhibición del encalichamiento</i>	17
2.3. Carbonato.....	19
2.3.1. <i>Definición de la Dureza del Agua</i>	19
2.3.2. <i>Clasificación del agua</i>	20
2.3.3. <i>Descripción de la Calcita y la Aragonita</i>	21
2.3.4. <i>Mecanismo de formación de carbonatos</i>	21
2.3.5. <i>Cristalización de los carbonatos</i>	22
2.3.6. <i>Solubilidad de los carbonatos</i>	24
2.4. Procedimientos y Marchas Utilizados en la Prueba.....	26
2.4.1. <i>Determinación de la curva de stress</i>	27
2.4.2. <i>Prueba de efecto umbral</i>	27
2.4.3. <i>Prueba de inhibición de incrustamiento</i>	28
2.4.3. <i>Determinación de carbonatos en solución</i>	29
CAPÍTULO III.....	31
DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL.....	31
3.1. Pruebas de Laboratorio – Primera Etapa.....	32
3.1.1 <i>Solución Lixiviante Barren</i>	32

3.1.1.1. Curva de stress - Solución Lixivante Barren.	32
3.1.1.2. Prueba de Efecto Umbral - Solución Lixivante Barren.	33
3.1.1.3. Prueba de inhibición de incrustamiento - Solución Lixivante Barren.	34
3.1.2. Solución Pregnant.	37
3.1.2.1 Curva de stress - Solución Pregnant.	37
3.1.2.2. Prueba de Efecto Umbral – Solución Pregnant.	38
3.1.2.3. Prueba de inhibición de incrustamiento - Solución Pregnant.....	38
3.2. Prueba en Planta – Segunda Etapa.	42
3.2.1. Ubicación de los puntos de dosificación y muestreo.	43
3.2.2. Monitoreo de carbonatos.	43
3.2.2.1. Partes del Monitoreo.....	44
3.2.2.2. Puntos de monitoreo.....	46
3.2.2.3. Comparación de los sistemas.....	49
3.2.3. Índice de taponamiento y coeficiente de uniformidad.....	56
CAPÍTULO IV.....	58
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
4.1. De las Pruebas de Laboratorio.	58
4.1.1. Determinación de la Curva de stress.....	58

4.1.2. Prueba de Efecto Umbral.....	59
4.1.3. Prueba de inhibición de incrustamientos.	60
4.2. De las Prueba en Planta a nivel Industrial.	61
4.2.1. Monitoreo de los carbonatos en Planta.	61
4.2.2. Índice de taponamiento y coeficiente de uniformidad.	62
CAPÍTULO V.....	66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
CAPÍTULO VI.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS	69
Anexo N° 1 – Hoja Técnica del PBA -1.....	70
Anexo N° 2 –Hoja Técnica del PBA -2.....	72
Anexo N° 3 – ANTICONGELANTE.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1

Parámetros del mineral.....13

Tabla N° 2

Parámetros de la lixiviación.....13

Tabla N° 3

Parámetros de la planta Merrill Crowe.....14

Tabla N° 4

Dureza total y grado de dureza del agua.....20

Tabla N° 5

Constantes del producto de solubilidad.....25

Tabla N° 6

Condiciones de la solución Lixivante barren.....32

Tabla N° 7

Curva de stress de la solución Lixivante barren.....32

Tabla N° 8

Ensayo con Anti-incrustante PBA-1 Sol. Lixivante Barren.....33

Tabla N° 9

<i>Ensayo con Anti-incrustante PBA 2 Sol. Lixivante Barren.....</i>	<i>33</i>
---	-----------

Tabla N° 10

<i>Prueba de inhibición de incrustamiento con PBA-1 y PBA-2 - Solución Lixivante barren.....</i>	<i>35</i>
--	-----------

Tabla N° 11

<i>Determinación del porcentaje de incrustación utilizando PBA-1 y PBA-2 Solución lixivante barren.....</i>	<i>36</i>
---	-----------

Tabla N° 12

<i>Condiciones de la solución Pregnant.....</i>	<i>37</i>
---	-----------

Tabla N° 13

<i>Curva de stress de la solución Pregnant.....</i>	<i>37</i>
---	-----------

Tabla N° 14

<i>Ensayo con Anti-incrustante PBA-1 Sol. Pregnant.....</i>	<i>38</i>
---	-----------

Tabla N° 15

<i>Ensayo con Anti-incrustante PBA-2 Sol. Pregnant.....</i>	<i>38</i>
---	-----------

Tabla N° 16

<i>Prueba de inhibición de incrustamiento con PBA-1 y PBA-2 Solución pregnant</i>	<i>40</i>
---	-----------

Tabla N° 17

<i>Determinación del porcentaje de incrustación utilizando PBA-1 y PBA-2 - Solución pregnant.....</i>	<i>41</i>
---	-----------

Tabla N° 18

Resultados obtenidos durante el monitoreo de carbonatos.....48

Tabla N° 19 - *Resultados obtenidos: Coeficiente de uniformidad y Porcentaje de taponamiento.....56*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1

Mecanismo de acción del PBA sobre la formación del CaCO₃ 18

Figura N° 2

Mecanismo de acción del PBA sobre la formación del CaCO₃..... 18

Figura N° 3

Inhibición del desarrollo de los cristales de CaCO₃ por acción del reactivo PBA..... 19

Figura N° 4

Reacción entre las 3 fases (aire, agua, roca) del sistema dióxido de carbono / carbonato.....24

Figura N° 5

Curva de Stress - Solución Lixivante Barren33

Figura N° 6

Curva de Stress - Solución Pregnant37

Figura N° 7

Diagrama de flujo del proceso Merrill Crowe indicando los puntos de dosificación y monitoreo.....47

Figura N° 8

Primera Comparación.....51

Figura N° 9

Segunda Comparación.....52

Figura N° 10

Tercera Comparación.....53

Figura N° 11

Cuarta Comparación.....54

Figura N° 12

Resumen del Sistema Merrill Crowe.....55

Figura N° 13

Variación del coeficiente de uniformidad y porcentaje de taponamiento durante las tres etapas.....57

INTRODUCCIÓN

En casi todos los procesos industriales el uso del agua es necesario, pero ninguno de ellos está exento de los efectos negativos de sus componentes naturales, uno de estos componentes que mayor atención se lleva, es la dureza del agua, que genera una serie de incrustaciones en equipos domésticos e industriales, en especial en los procesos de lixiviación del oro que al utilizar la cal, potencializa la formación de las incrustaciones.

La importancia del uso de los anti-incrustantes, los cuales son compuestos químicos, radica en evitar que estas incrustaciones se depositen o precipiten en tuberías, depósitos, mangueras o cualquier superficie que genere reducción en la eficiencia del proceso o deterioro de los equipos; los compuestos anti-incrustantes reaccionan con los iones calcio y magnesio de manera que evita la formación de los precipitados de carbonatos de estos iones.

El reactivo PBA-1 es un polímero de base acrílica y sal sódica que posee la habilidad de inhibir la precipitación e incrustamiento de sales de Ca y Mg, de aguas duras, mediante la modificación y dispersión de estos cristales, los cuales se forman en un medio acuoso. El PBA-1, actúa reduciendo la formación de lodos y previniendo el encalichamiento de las tuberías y equipos empleados en el proceso.

El presente trabajo tendrá por finalidad mostrar el efecto del anti-incrustante PBA-1 antes mencionado en un proceso de Merrill Crowe en la operación de cianuración por pilas.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción de las Operaciones.

La unidad minera procesa mineral con contenido de oro, el proceso consiste en una operación a tajo abierto estándar de perforación, voladura y carguío por volquetes que depositan el mineral en pilas de lixiviación para luego ser cianurada por riego en goteo, previamente se le adiciona cal para mantener el pH de proceso, esta solución rica en oro es procesada en una planta para su recuperación utilizando el proceso conocido como Merrill Crowe y finalmente en la fundición se obtienen barras de dore.

1.2. Descripción de la Planta.

Para una mejor comprensión de la planta dividiremos en dos secciones, la primera sería la sección de cianuración o lixiviación y la segunda vendría ser la sección de Merrill Crowe, a continuación se explica cada una:

1.2.1. Sección de Cianuración o Lixiviación.

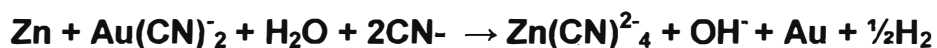
El mineral que es extraído de la mina y transportado en volquetes, es depositado en pilas de lixiviación de altura de 10m (c/piso) mezclándolo con cal (0,3 kg/ton) para mantener el pH de operación,

luego es regado por goteo con una solución cianurada de 400 ppm con un pH de 10,5 a un rate de 11 L/h-m² la solución que sale de las pilas que es rica en oro y plata se le conoce como solución pregnant, esta es captada en la poza pregnant de gran capacidad en donde por decantación se precipitan los sólidos que hayan sido arrastrados antes de que la solución pase a la siguiente etapa (*ver diagrama de flujo - página 47*)

1.2.2. Sección de Merrill Crowe.

La solución pregnant (Au:1 ppm y Ag:6 ppm) es bombeada desde la poza hacia tres filtros clarificadores en donde se filtra la solución para retirar todas las partículas en suspensión obteniendo 1 ppm en sólidos en suspensión, luego pasa a la torre de vacío en donde se retira el oxígeno disuelto el cual debe llegar hasta 0,5 ppm, a continuación saliendo de la torre de vacío se le adiciona el polvo de zinc para precipitar el oro y la plata que son recuperados como precipitado en unos filtros de precipitación y finalmente la solución Barren regresa al sistema para regar a las pilas (*ver diagrama de flujo – página 47*).

La reacción de cementación para oro según Barin et al,:



Por relación estequiométrica se tiene:

Para 1Kilo de oro se necesita 0,330 kg de Zn

Para 1kilo de plata se necesita 0,605 de Zn

1.2.3. Parámetros de operación.

Tabla N° 1 – Parámetros del mineral

MINERAL	Características	Unidad	Valor
Tipo de mineral	oxidados		
Permeabilidad	regular		
Densidad aparente		TM/m ³	1,54
Ley cabeza (soluble)		Gr Au/TMS	0,5-0,6
Ley cabeza (soluble)		Gr Ag/TMS	28-40
Tratamiento		TM/día	26000
Cal		Kg/TM	0,29
Humedad		% H ₂ O	3,0

Tabla N° 2 – Parámetros de la lixiviación

PROCESO DE LIXIVIACION	Características	Unidad	Valor
Tratamiento	Heap Leaching		
Tiempo de lixiviación		Días	72,00
Velocidad de percolación		m/día	2,00
Tipo de pila	Permanente		
Area de riego		m ²	12350
Rate riego		lt/hr-m ²	11
Tipo de riego	Goteo		
Flujo de riego		m ³ /hr	1200
Recuperación de oro		%	65,00
Concent. Sol. Lixiviación		ppm	400,00
Ph solución de lixiviación			10,50
Altura mineral depositado		m	10,0

Tabla N° 3 – Parámetros de la planta Merrill Crowe

PLANTA MERRIL CROWE	Características	Unidad	Valor
Volúmen poza pregnant		m ³	15860,5
Volúmen Tanque barren		m ³	30,0
Volumen tratamiento		m ³ /hr	675,00
Conc. de NaCN sol. Pregnant		ppm	200,00
Conc. de NaCN sol. Barren		ppm	100,00
O2 disuelto sol. Pregnant		ppm	6,0
O2 disuelto sol. Barren		ppm	0,5
Altura torre vacio		m	7,0
Diámetro torre vacío		m	3,0
Relleno con polipropileno	Disp. Esfericos		
Eficiencia torre vacio		%	95,00
Rate de Zn / Au:Ag		gr/gr	17,00
Ley sol. Pregnant : Au		ppm	1,0 - 0,9
Ley sol. Pregnant : Ag		ppm	5-7
Ley sol. Barren : Au		ppm	0,03
Ley sol. Barren : Ag		ppm	0,03
Recuperación Au		%	95-97
Recuperación Ag		%	15-18
Presión Filtro clarificador		Kpa	300,00
Presión Filtro Precipitación		psi	50,00
Presion de vacio		mmHg	119,00

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Anti-Incrustante - Definición.

Un **anti-incrustante** es un compuesto químico que tiene la propiedad de evitar que las sales del agua se depositen (precipiten) en tuberías, depósitos, mangueras o cualquier superficie. Normalmente estas sales son carbonatos, silicatos y sulfatos de calcio. Las aguas con estas sales se denominan aguas duras.

Los compuestos anti-incrustantes suelen reaccionar con el calcio y el magnesio de manera que no puedan formar precipitados, evitando así que se adhieran a las paredes formando capas y finalmente obstruyendo los conductos.

2.2. Anti-Incrustante PBA.

Agente Dispersante – Anti-incrustante aplicado a procesos y operaciones metalúrgicas de cianuración de oro (Au), plata (Ag) como: Heap Leaching, cianuración de concentrados, y otros; tanto que empleen sistemas Merrill Crowe o Carbón Activado.

Utilizado específicamente en la limpieza de tuberías, aspersores, bombas, filtros, etc.; evitando el encalichamiento y con ello obteniendo mayor

tiempo de duración de los periodos de trabajo y menor tiempo en el mantenimiento de estos, en el proceso de Merrill Crowe para este caso el PBA actúa en los filtros clarificadores y filtros prensas evitando el encalichamiento de los elementos filtrantes.

2.2.1. Descripción del Anti-incrustante PBA.

El anti-incrustante es un polímero de base acrílica y sal sódica (PBA) en agua, su acción de suprimir la nucleación es más física que química.

Es un agente Dispersante - Anti-incrustante muy soluble en agua a temperatura ambiente y puede ser alimentado directamente sobre grandes volúmenes de agua o pulpa. Materiales de polietileno y acero son adecuados para este reactivo: tales como tuberías, tanques de disolución, alimentadores, etc.

Posee la habilidad de **inhibir** la precipitación e incrustamiento de sales de Ca, Mg etc., de aguas duras, mediante la modificación y **dispersión** de estos cristales, los cuales se forman en un medio acuoso. Los cristales modificados y dispersos, son de tamaños lo suficientemente pequeños, tal que inhiben el movimiento Browniano. En resumen., PBA, actúa reduciendo la formación de lodos y previniendo el encalichamiento de las tuberías y equipos empleados en el proceso.

Polímeros: son macromoléculas generalmente orgánicas formadas por la unión de moléculas (generalmente enlaces covalentes) más pequeñas llamadas monómeros. El monómero es una molécula de pequeña masa molecular.

El movimiento browniano: es el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas microscópicas que se hallan en un medio fluido. El movimiento aleatorio de las partículas no es siempre completamente uniforme y sufre variaciones estadísticas importantes. Tanto la difusión como la ósmosis son fenómenos basados en el movimiento browniano.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas del PBA – 1 y PBA – 2.

PBA -1	PBA -2
Aspecto: Líquido incoloro a ligeramente amarillento	Aspecto: Líquido incoloro a ligeramente amarillento
Valor pH: aprox. 8 (200 g/l, 23 °C)	Valor pH: aprox. 8 (200 g/l, 23 °C)
Temperatura de solidificación: aprox. -20 °C	Temperatura de solidificación: aprox. -20 °C
Densidad aprox. 1,344 g/cm ³ (20 °C)	Densidad aprox. 1,1–1,25 gr./cm ³ (20 °C)
No Volátiles: PBA – 1 (44 – 46%)	No Volátiles: PBA – 2 (29 – 31%)
Miscible en agua en cualquier proporción	Miscible en agua en cualquier proporción
	Contiene el PBA - 2: Anticongelante Glysantin G 05 (ethylene glycol) un 5% en peso.

2.2.3. Mecanismo de acción para la inhibición del encalichamiento.

- Distorsión de cristales
- Dispersión de cristales
- Incremento de la capacidad de la solución de portar sales

Polímeros de peso molecular adecuado son absorbidos sobre el cristal, impartiendo igual carga lo cual genera dos efectos: repulsión por igual carga y suspensión de los cristales.

Debido a esta absorción se distorsionan los cristales encalichantes alterando e interfiriendo en su estructura cristalina no dejándolo desarrollar, con lo cual se impide que se adhieran en las paredes de los equipos.

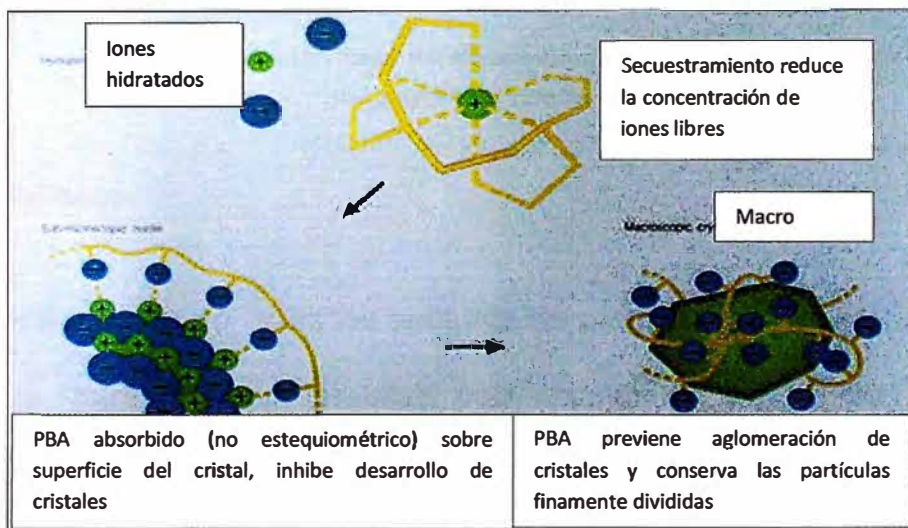


Figura N°1.- Mecanismo de acción del PBA sobre la formación del CaCO_3

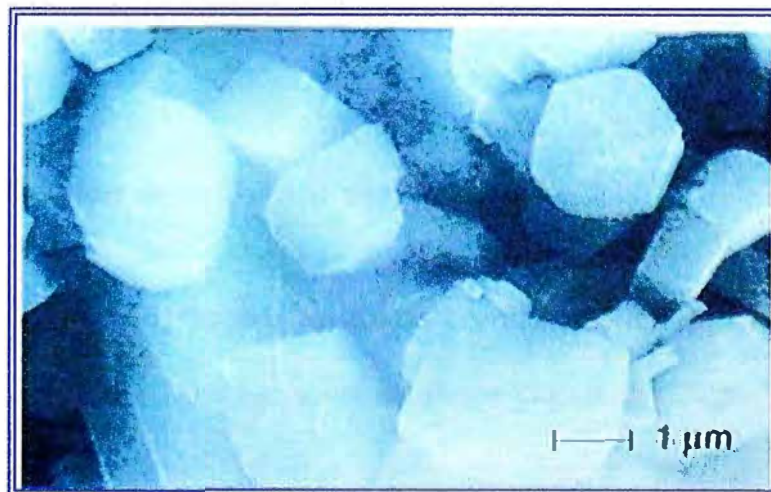


Figura N°2.- Mecanismo de acción del PBA sobre la formación del CaCO_3

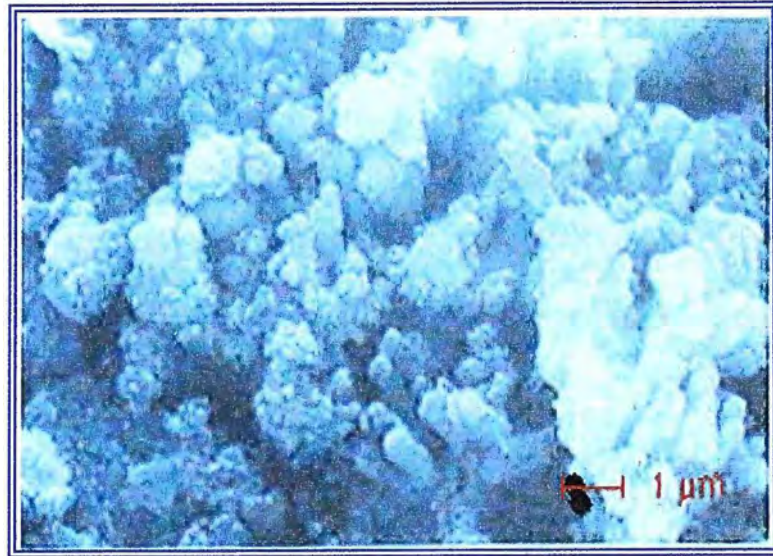


Figura N° 3.- Inhibición del desarrollo de los cristales de CaCO_3 por acción del reactivo PBA

2.3. Carbonato.

Prácticamente en todos los sectores de producción industrial se utiliza agua, pero ninguno de ellos está exento de los efectos de sus componentes naturales. Uno de estos componentes que mayor atención se lleva, es la **dureza del agua**, que genera una serie de incrustaciones en equipos domésticos e industriales, en especial en los procesos de lixiviación del oro que utiliza cal para regular el pH ya que la cal genera más incrustaciones.

2.3.1. Definición de la Dureza del Agua.

La dureza del agua se define como la concentración de todos los cationes metálicos no alcalinos presentes (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) y se expresa en equivalentes de carbonato de

calcio y constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua.

Los carbonatos son las sales del ácido carbónico, las sales tienen en común el anión CO_3^{2-} y se derivan del hipotético ácido carbónico H_2CO_3 . Según el pH están en equilibrio con el bicarbonato y el dióxido de carbono.

2.3.2. Clasificación del agua.

En química, **el agua dura** (por contraposición al agua blanda) es aquella que posee una dureza superior a 150 mg CaCO_3/l . Es decir que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas, una forma de reconocer estas aguas es que no forman espumas al contacto con jabón o detergente; en la siguiente tabla nos da la clasificación de tipo de agua según su contenido de carbonatos.

Tabla N° 4 – Dureza total y grado de dureza del agua

(*3 Francisco Julián Trujillo Santacoloma - Soluciones acuosas: teoría y aplicaciones – Pág. 100)

Dureza total (mg CaCO_3 / L)	Grado de Dureza
< 50	Suave
50 – 150	Moderadamente dura
151 – 300	Dura
> 300	Muy dura

2.3.3. Descripción de la Calcita y la Aragonita.

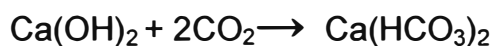
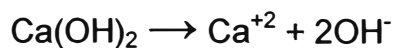
El carbonato más abundante es el carbonato cálcico (CaCO_3) que se halla en diferentes formas como la calcita (sistema hexagonal) que es fuertemente incrustante y la aragonita (Sistema ortorrómbico) que es escasamente adhesivas, frágiles y fácil de remover; La calcita es la más común y tiene una amplia distribución por todo el planeta, se calcula que aproximadamente el 4% en peso de la corteza terrestre es de calcita.

2.3.4. Mecanismo de formación de carbonatos.

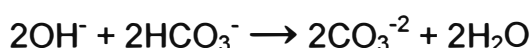
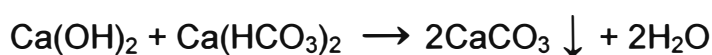
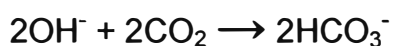
Se refiere a la presencia de iones disueltos (partículas sólidas con carga eléctrica neta), en especial **iones de calcio** [Ca^{2+}] y **iones de magnesio** [Mg^{2+}] cuyas cargas netas son positivas (cationes), y que provienen de la erosión y desintegración de rocas calcáreas y sedimentos varios presentes en el medio ambiente, principalmente en aguas subterráneas.

La carga positiva de estos cationes sólidos se balancea con la presencia de **aniones mediante enlaces iónicos** (con carga neta negativa), de los cuales los más influyentes son los **bicarbonatos** [HCO_3^-] y los **carbonatos** [CO_3^{2-}]. Estos aniones tienen su origen en el dióxido de carbono [CO_2] disuelto naturalmente en el agua; la cal utilizada para regular el pH

contiene el radical hidroxilo que es el componente reactivo de la cal que convierte el CO_2 y HCO_3^- en CO_3^{2-} , precipitando el CaCO_3 , como se muestra en las siguientes reacciones:



O en forma iónica:



Enlace iónico: En química, el enlace iónico es la unión que resulta de la presencia de fuerzas de atracción electrostática entre los iones de distinto signo. Se da cuando uno de los átomos capta electrones del otro, este tipo de enlace se suele producir entre un no metal de los grupos VI y VII (electronegativo) y un metal de los grupos I y II (electropositivo).

2.3.5. Cristalización de los carbonatos.

Los iones con cargas netas opuestas intervienen en un buen número de fenómenos químicos, entre ellos la **cristalización** (origen de las incrustaciones calcáreas en las tuberías, conductos, tanques, etc).

Los iones de signo opuesto se unen entre sí (debido a fuerzas electrostáticas naturales) mediante **enlaces iónicos** siguiendo

un esquema regular y ordenado que se manifiesta bajo la forma de un **crystal**, siendo éstos los responsables del aspecto sólido y consistente de las sales. El **enlace iónico** se funda en la fuerza de atracción electrostática entre iones de cargas netas **opuestas** (aniones y cationes).

La **crystalización** ocurre bajo condiciones muy comunes en muchos campos de aplicación

1. **Sobresaturación** de iones sólidos en solución (mayor cantidad de lo que la solución admite en estado de equilibrio)
2. **Crecimiento** de cristales por propio enlace iónico con otras sales precipitadas.
3. **Otros factores** como incrementos bruscos de temperatura (Noche a Día) disminuye su solubilidad, turbulencia en el sistema, naturaleza y estado de la superficie en contacto con la solución y presencia de otras impurezas.

La crystalización de iones en solución, bajo las condiciones mencionadas produce la formación de compuestos iónicos, como sales de calcio y de magnesio, de gran dureza y con fuerte capacidad de adherencia a las superficies de tuberías, circuitos y en especial, a zonas de transferencia de calor.

Las incrustaciones están compuestas fundamentalmente por calcita en mayor proporción, y por aragonita en menor

proporción. Ambos son carbonatos de calcio con igual composición química, aunque distinta estructura cristalina, físicamente hablando. **La calcita tiene una capacidad incrustante holgadamente superior frente a la aragonita.**

De no aplicarse un efectivo control de estas reacciones naturales, la adhesión constante y progresiva de carbonatos de calcio y de magnesio provoca el crecimiento de una costra incrustante de muy importantes espesores, la cual es mecánicamente dura de remover, lo que implica pérdida de capacidad de caudal en tuberías, aspersores y goteo.

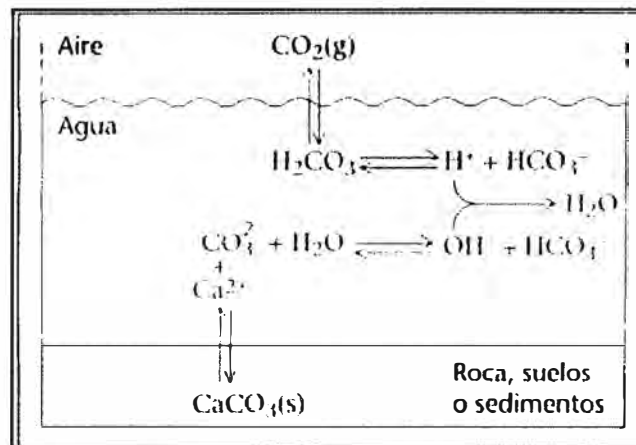


Figura 4.- Reacción entre las 3 fases (aire, agua, roca) del sistema dióxido de carbono / carbonato

2.3.6. Solubilidad de los carbonatos.

Una sustancia soluble en contacto con el agua se va disolviendo en su forma característica iónica o molecular, hasta un límite en el cual alcanza la saturación. La solubilidad son muy variables de una sustancia a otras. En las soluciones iónicas la saturación

viene determinada por el producto de solubilidad Kps, en la saturación la presencia de la sustancia sólida no disuelta implica una concentración constante en el agua de la forma no disociada, que se puede incluir en la constante de solubilidad.

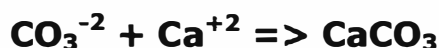
Cuando en una solución se encuentra presente distintos iones, alguno de ellos originados por más de un electrolito disuelto, y se rebasa en el producto de solubilidad para algunos de las sustancias que pueden resultar de la combinación de los iones, la solución pasa a estar sobresaturada y tiende a precipitar las sustancias disueltas cuyo producto de solubilidad ha sobrepasado.

Tabla Nº 5 – Constantes del producto de solubilidad

(*2 Charles E. Mortimer - Química -. Edición 5. Pag. 619)

Constante del producto de solubilidad a 25 °C		
Compuesto		Kps
Carbonato de calcio	CaCO ₃	4,7x10 ⁻⁹
Carbonato de Magnecio	MgCO ₃	1x10 ⁻⁵
Sulfato de Calcio	CaSO ₄	2,4x10 ⁻⁵

Calculo en ppm de las incrustaciones según tabla



$$K_{sp} = [\text{Ca}^{+2}][\text{CO}_3^{-2}] = 4,7 \times 10^{-9} \text{ y}$$

$$S = \text{Solubilidad del CaCO}_3 = [\text{Ca}^{+2}] = [\text{CO}_3^{-2}]$$

$$S^2 = 4,7 \times 10^{-9} \text{ entonces } S = 68,55 \times 10^{-6} \text{ mol/litro}$$

- PM (CaCO₃) = 100 gr/mol entonces S = 6,85 gr/m³

- PM (MgCO_3) = 83,4 gr/mol entonces $S = 263,7 \text{ gr/m}^3$
- PM (CaSO_4) = 136 gr/mol entonces $S = 666,3 \text{ gr/m}^3$

2.4. Procedimientos y Marchas Utilizados en la Prueba.

En el desarrollo de la prueba con el Anti-incrustante se usaron procedimientos y marchas que nos ayudaron a definir los parámetros de operación.

La curva de Stress, la prueba de efecto umbral y la prueba de inhibición de incrustamiento, son pruebas a nivel de laboratorio que tienen como objetivo final ayudarnos a determinar la dosificación de reactivo necesaria que debemos utilizar para la prueba a nivel de planta.

La curva de Stress: determina la concentración de carbonato de sodio (Na_2CO_3) que nos da la mayor turbidez, con la cual se hará la siguiente prueba de Efecto Umbral.

La prueba de efecto Umbral: evalúa la capacidad del anti-incrustante de inhibir el crecimiento de los núcleos del cristal de carbonatos y, se controla a través de la turbidez de la muestra; la muestra con menor turbidez, indicara la mejor dosificación.

La prueba de Inhibición de incrustamiento: evalúa la capacidad del anti-incrustante para inhibir el incrustamiento y/o adherencia de los cristales de carbonatos en las paredes del recipiente y, se controla a través de la medición de dureza de los cristales adheridos en las paredes del recipiente; la prueba con menor dureza, indicara el mejor anti-incrustante.

2.4.1. Determinación de la curva de stress.

- La determinación se realizará con adición de carbonato de sodio (Na_2CO_3), para el estresamiento.
- Se evaluará a concentraciones de 250, 300, 350, 400, 450 y 500 ppm (mgr/litro).
- Para cada evaluación de estresamiento, tomar 500 ml de la solución muestra.
- Se homogenizara la muestra, agitando a 300 RPM, durante 10 minutos.
- Leer la turbidez (03 lecturas) y luego determinar el promedio.
- La turbidez de mayor valor, se considera como el mejor resultado y se considerará para las pruebas de la evaluación de anti-incrustante.

2.4.2. Prueba de efecto umbral.

- Se emplea 500 ml de solución barren, para cada evaluación.
- Se toma la muestra representativa de solución barren y se agita a 300 RPM
- Se adiciona el anti-incrustante a diferentes concentraciones y se deja homogenizando durante 05 minutos.
- Se agrega el Na_2CO_3 , según lo determinado en el ítem anterior.
- Se homogeniza la muestra, agitando durante 10 minutos.
- Leer la turbidez (03 lecturas) y luego determinar el promedio.

2.4.3. Prueba de inhibición de incrustamiento.

- Se emplea 500 ml de solución muestra, para cada evaluación, incluyendo una muestra en blanco.
- Se toma la muestra representativa de solución barren y se agita a 300 RPM.
- Se adiciona el anti-incrustante a diferentes concentraciones y se homogeniza durante 05 minutos.
- Se agrega el Na_2CO_3 , según lo determinado en la curva de stress.
- Se homogeniza la muestra, agitando durante 10 minutos, luego se calienta hasta reducir el volumen a un 40% aprox.
- Lecturas de la dureza:
 - * Verter la solución en un vaso de precipitación de 500 ml.
 - * Enjuagar con 25 ml de agua destilada el recipiente de prueba, en forma suave y sin agitación; luego guardar el agua de lavado.
 - * Atacar las paredes del recipiente de prueba con 5 ml de ácido clorhídrico al 20%.
 - * Después del ataque, adicionar 300ml de agua destilada y agitar suavemente para una buena homogenización.
 - * Para la titulación, se toma 10ml de la solución del ítem anterior y se vierte en un vaso de precipitación de 100ml;

adicionar en agitación buffer hasta obtener un pH de 10 a 11 (10 a 15 ml), añadir 6 a 8 gotas del indicador NET.

- * Titular con EDTA y anotar el gasto.
- * Si se desea un balance de todo el proceso, se deberán analizar las muestras del primer y segundo ítem, siguiendo la misma secuencia para la titulación.

2.4.3. Determinación de carbonatos en solución.

La determinación de los carbonatos es muy importante en el análisis del efecto del PBA, ya que nos indicara si hay un cambio con la utilización del reactivo.

Materiales y reactivos:

- 01 Bureta de vidrio de 50 ml
- 02 Pipeta Volumétrica de 25 y 5 ml
- 01 Vaso de Precipitado de 250 ml
- Solución valorada de EDTA aprox. 0,1 N
- Solución buffer pH 10
- Solución Indicadora Negro de Erio-Cromo T
- Agua Destilada

Procedimiento:

- Tomar 25 ml. de solución muestra previamente filtrada (si fuese necesario), verter en un matraz. (V_{MUESTRA})
- Adicionar 2 ml - 5 ml. de solución buffer pH 10. (la cantidad de adición de buffer es la necesaria para que la solución muestra llegue a pH 10)
- Se agrega 3 gotas de indicador coloreado N.E.T. y se agita obteniendo una solución de color rosado a fucsia.
- Titular la muestra con solución de EDTA aprox. 0,1 N. El punto de viraje se denota por un cambio de la coloración de ROSADO a AZUL, tener cuidado de no confundir con la coloración intermedia que es LILA.
- El color AZUL se mantendrá por espacio de 5 a 7 segundos, luego cambiara a LILA. anotamos el gasto de EDTA (V_{EDTA})
- Calcular la concentración de carbonatos en partes por millón (ppm)

Cálculos:

$$\text{CaCO}_3 = \frac{V_{\text{EDTA(ml)}} \times N_{\text{EDTAcorregida}} \times 50000}{25 \text{ ml}}$$

* *American Society for testing and Materials. Annual book of Standards 1994 Determinación de dureza en agua. Método ASTM D 1126-92*

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA EXPERIMENTAL

La primera etapa se realizó a nivel de laboratorio, donde se realizaron tres pruebas, (determinación de la curva de stress, prueba de efecto umbral, prueba de inhibición de incrustamiento) utilizando dos reactivos PBA – 1 y el PBA - 2, el objetivo de estas pruebas es primero determinar las condiciones mas extremas de formación de carbonatos y sobre estas condiciones hallar la dosificación idónea a utilizar de anti-incrustante para inhibir la formación de los carbonatos y a su vez poder elegir cual de los dos reactivos utilizar.

En la segunda etapa se realizó a nivel de planta utilizando los parámetros obtenidos del laboratorio de la primera etapa; se procedió a dosificar el anti-incrustante en la planta en dos puntos, en la solución pregnant a la entrada del clarificador y en la solución barren lixiviante que va hacia las mangueras para el riego del pad, luego se procede hacer un control de los carbonatos, para ello se tomaron puntos de muestreo o monitoreo como se puede observar en el diagrama de flujo página 47, esta toma de muestras se realizo **en tres partes**: una etapa inicial de monitoreo sin reactivo durante 4 días, una etapa intermedia con dosificación de reactivo durante 37 días y una etapa final nuevamente sin reactivo durante 9 días.

Igualmente se hizo un seguimiento del coeficiente de uniformidad y del porcentaje de taponamiento de las mangueras de riego durante las 3 partes mencionadas.

La finalidad del presente trabajo es poder ver el efecto del Anti-incrustante PBA-1 en los equipos y tuberías de la planta, comparando las entradas y salidas de estos durante los diferentes momentos de monitoreo.

3.1. Pruebas de Laboratorio – Primera Etapa.

La solución pregnant y la solución lixiviante barren son las que se utiliza para hacer las pruebas siguientes, ya que en estas soluciones es en donde se dosifica el reactivo y se tiene que ver el efecto del reactivos directamente sobre estas soluciones.

3.1.1 Solución Lixiviante Barren.

Tabla N° 6 – Condiciones de la solución Lixiviante barren

SOLUCIÓN LIXIVIANTE BARREN:		REACTIVOS:	
pH:	10,31	EDTA:	0,10353 N
CaCO ₃ :	560,7 ppm	NET:	Preparado
Cantidad :	20 Litros	Buffer 10	
Solución con Na ₂ CO ₃ :	986,65 ppm (carbonatos)	Na ₂ CO ₃	Sólido QP
Carbonatos en 500ml de Sol.	493,33 mg (carbonatos)	CaCO ₃ de agua de planta	62,12 ppm

3.1.1.1. Curva de stress - Solución Lixiviante Barren.

Tabla N° 7 – Curva de stress de la solución Lixiviante barren

Muestra	Volumen (ml)	Carbonato de Sodio (Na ₂ CO ₃)		Turbidez (NTU)			PROMEDIO
		Concent. ppm	peso (gr)	1	2	3	
01	500	250	0,125	25,72	24,85	24,15	24,91
02	500	300	0,150	26,23	25,64	25,12	25,66
03	500	350	0,175	26,57	25,91	25,45	25,98
04	500	400	0,200	26,87	26,73	25,33	26,31
05	500	450	0,225	26,65	25,93	25,43	26,00
06	500	500	0,250	26,17	25,45	24,97	25,53

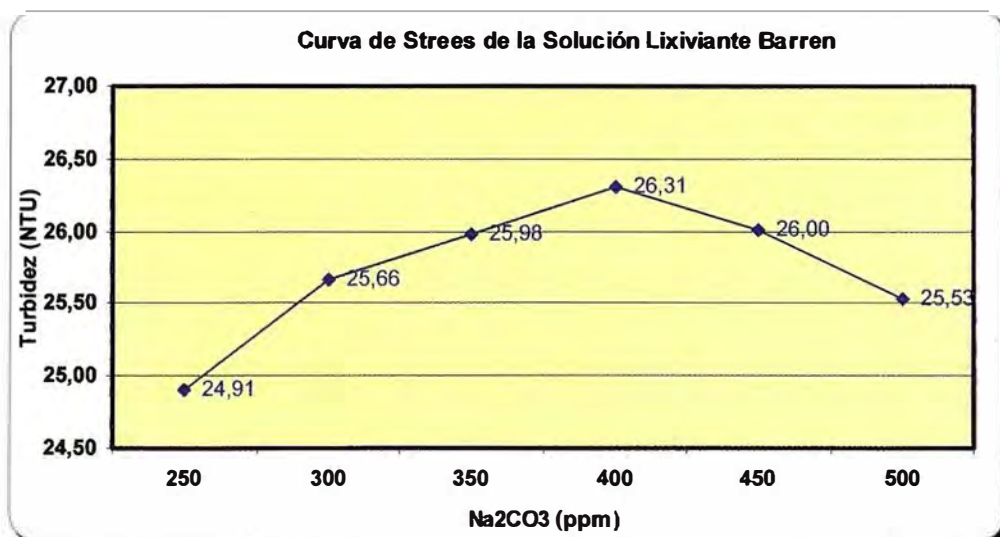


Figura 5.- Curva de Stress - Solución Lixiviante Barren

Concentración de carbonato de sodio (Na₂CO₃) que nos genera mayor turbidez es la de 400ppm.

3.1.1.2. Prueba de Efecto Umbral - Solución Lixiviante Barren.

Tabla Nº 8 Ensayo con Anti-incrustante PBA - 1 Sol. Lixiviante Barren

Muestra	Volumen		PBA - 1		Turbidez (NTU)			PROMEDIO
	Muestra (ml)	ml	ppm	1	2	3		
01	500	0,50	1	23,56	22,67	21,51	22,58	
02	500	0,75	1,5	22,05	22,17	22,25	22,16	
03	500	1,00	2	22,32	22,35	22,25	22,31	
04	500	1,50	3	22,47	22,56	22,51	22,51	
05	500	2,00	4	22,75	22,57	22,82	22,71	

Tabla Nº 9 Ensayo con Anti-incrustante PBA - 2 Sol. Lixiviante Barren

Muestra	Volumen		PBA - 2		Turbidez (NTU)			PROMEDIO
	Muestra (ml)	ml	ppm	1	2	3		
01	500	0,50	1	24,34	23,23	23,48	23,68	
02	500	0,75	1,5	23,50	23,29	23,60	23,46	
03	500	1,00	2	23,61	23,46	23,51	23,53	
04	500	1,50	3	24,32	23,67	23,12	23,70	
05	500	2,00	4	23,77	23,78	23,67	23,74	

El anti-incrustante del ítem A (PBA-1) nos da el mejor resultado en cuanto a la menor turbidez a 1,5 ppm de anti-incrustante, que es un indicador de la inhibición del crecimiento de los cristales de carbonatos de calcio.

3.1.1.3. Prueba de inhibición de incrustamiento - Solución Lixivante Barren.

Análisis de los carbonatos: se hace la lectura de los carbonatos de la solución sobre nadante, solución de enjuague, solución de lavado de ácido.

- **Solución sobre-nadante:** Solución residual que queda después de calentar.
- **Solución de enjuague:** El agua destilada usada para lavar el vaso en forma suave después de calentar.
- **Solución de lavado de ácido:** Es el agua con el ácido clorhídrico que se utiliza para atacar y lavar los carbonatos contenidos en las paredes del vaso.

Tabla N° 10 Prueba de inhibición de incrustamiento con PBA-1 y PBA-2 Solución Lixivante barren

Gasto de EDTA	PBA - 1 (1,0 ppm)			PBA - 1 (1,5 ppm)			PBA - 1 (2 ppm)			BLANCO		
	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO
Inicio	0,00	22,00	27,00	1,00	22,90	27,80	0,00	21,60	26,60	0,00	14,20	20,50
Fin	10,70	24,20	27,65	11,80	25,40	28,40	10,70	24,10	27,20	6,50	17,20	23,60
Diferencia	10,70	2,20	0,65	10,80	2,50	0,60	10,70	2,50	0,60	6,50	3,00	3,10
Inicio	10,70	24,20	27,70	11,80	25,40	28,40	10,80	24,10	27,20	6,50	17,20	23,60
Fin	21,35	26,50	28,35	22,70	28,00	29,10	21,60	26,60	27,90	13,00	20,30	26,80
Diferencia	10,65	2,30	0,70	10,90	2,60	0,70	10,80	2,50	0,70	6,50	3,10	3,20
CaCO₃ (ppm)	2210,45	465,90	139,77	2246,69	528,02	134,59	2225,98	517,67	134,59	1345,94	631,56	652,26

Gasto de EDTA	PBA - 2 (1,0 ppm)			PBA - 2 (1,5 ppm)			PBA - 2 (2 ppm)		
	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO
Inicio	0,00	22,00	27,00	1,00	22,50	27,30	4,00	26,50	32,00
Fin	10,25	24,30	27,90	11,60	24,90	28,10	14,55	29,00	32,80
Diferencia	10,25	2,30	0,90	10,60	2,40	0,80	10,55	2,50	0,80
Inicio	10,80	24,30	27,90	11,60	24,90	28,10	14,80	29,00	32,80
Fin	21,00	26,60	28,70	22,25	27,20	29,00	25,30	31,40	33,65
Diferencia	10,20	2,30	0,80	10,65	2,30	0,90	10,50	2,40	0,85
CaCO₃ (ppm)	2117,27	476,26	176,01	2200,10	486,61	176,01	2179,39	507,32	170,83

Tabla N° 11 Determinación del porcentaje de incrustación utilizando PBA-1 y PBA-2 Solución lixiviante barren

Volumenes por Etapa	Unidad	PBA - 1			PBA - 2			BLANCO
		1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	
Inicial	ml	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Sol.Sobrenadante (aprox 40%)	ml	197,2	194,2	196,8	200,3	193,2	195,3	198,4
Sol. Enjuague	ml	25	25	25,1	25,1	25,1	25,2	25
Sol. Lavado Acido	ml	310	310	310	310	310	310	310

Tipo de Solución	Unidad	PBA - 1			PBA - 2			BLANCO
		1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	2,,0 ppm	
Solución Sobrenadante	CaCO ₃ (mg)	435,90	436,31	438,07	424,09	425,06	425,64	267,03
Solución de Enjuague	CaCO ₃ (mg)	11,65	13,20	12,99	11,95	12,21	12,78	15,79
Solución de Lavado Acido	CaCO ₃ (mg)	43,33	41,72	41,72	54,56	54,56	52,96	202,20
Total	CaCO ₃ (mg)	490,88	491,23	492,79	490,61	491,84	491,38	485,03
Porcentaje Incrustación	%	8,83	8,49	8,47	11,12	11,09	10,78	41,69

El anti-incrustante PBA – 1 con una dosificación de 2 ppm es la más idónea para la dosificación para las pruebas a realizarse en planta.

3.1.2. Solución Pregnant.

Tabla N° 12 – Condiciones de la solución Pregnant

SOLUCIÓN PREGNANT:		REACTIVOS:	
pH:	9,79	EDTA:	0,10353 N
CaCO ₃ :	582,38 ppm	NET:	Preparado
Cantidad :	20 Litros	Buffer 10	
Solución con Na ₂ CO ₃ :	996,15 ppm (carbonatos)	Na ₂ CO ₃	Sólido QP
Carbonatos en 500ml de Sol.	498,08 mg (carbonatos)	CaCO ₃ de agua de planta	62,12 ppm

3.1.2.1 Curva de stress - Solución Pregnant.

Tabla N° 13 – Curva de stress de la solución Pregnant

Muestra	Volumen (ml)	Carbonato de Sodio (Na ₂ CO ₃)		Turbidez (NTU)			
		Concent. ppm	peso (gr)	1	2	3	PROMEDIO
01	500	250	0,125	30,92	30,67	29,17	30,25
02	500	300	0,150	31,09	30,47	30,12	30,56
03	500	350	0,175	31,51	30,72	30,76	31,00
04	500	400	0,200	31,83	31,31	30,57	31,24
05	500	450	0,225	31,62	30,93	30,19	30,91
06	500	500	0,250	31,27	31,14	29,91	30,77

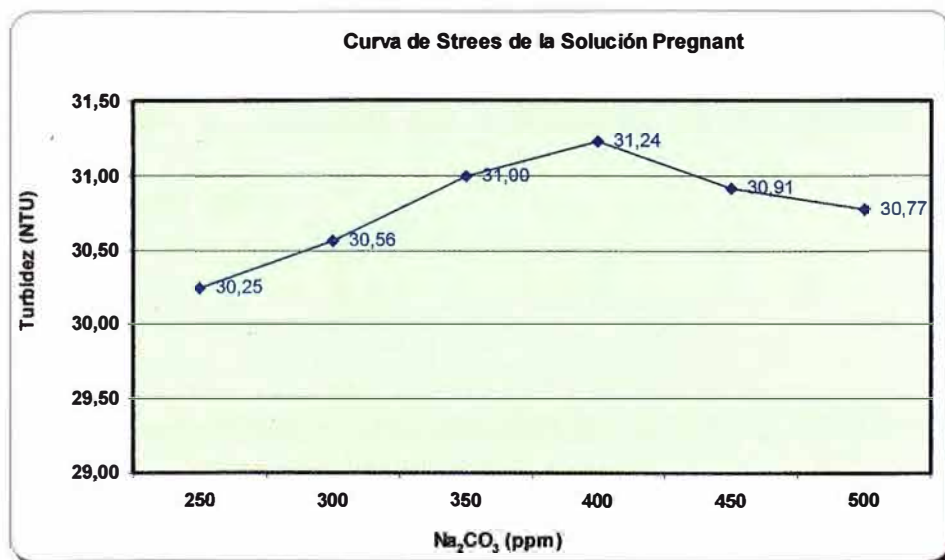


Figura 6.- Curva de Stress - Solución Pregnant

Concentración de carbonato de sodio (Na₂CO₃) que nos genera mayor turbidez es la de 400ppm.

3.1.2.2. Prueba de Efecto Umbral – Solución Pregnant.

Tabla N° 14 Ensayo con Anti-incrustante PBA – 1 Sol. Pregnant

Muestra	Volumen	PBA - 1		Turbidez (NTU)			PROMEDIO
	Muestra (ml)	ml	ppm	1	2	3	
01	500	0,50	1	30,27	28,89	29,01	29,39
02	500	0,75	1,5	29,13	29,16	29,05	29,11
03	500	1,00	2	29,30	29,13	29,31	29,25
04	500	1,50	3	29,45	29,34	29,56	29,45
05	500	2,00	4	29,51	29,42	29,58	29,50

Tabla N° 15 Ensayo con Anti-incrustante PBA – 2 Sol. Pregnant

Muestra	Volumen	PBA - 2		Turbidez (NTU)			PROMEDIO
	Muestra (ml)	ml	ppm	1	2	3	
01	500	0,50	1	30,00	30,11	30,21	30,11
02	500	0,75	1,5	29,91	29,82	29,99	29,91
03	500	1,00	2	30,37	30,23	30,20	30,27
04	500	1,50	3	30,35	30,44	30,45	30,41
05	500	2,00	4	30,79	30,23	30,65	30,56

El anti-incrustante del ítem A (PBA - 1) nos da el mejor resultado en cuanto a la menor turbidez a 1,5ppm de anti-incrustante, que es un indicador de la inhibición del crecimiento de los cristales de carbonatos de calcio.

3.1.2.3. Prueba de inhibición de incrustamiento - Solución Pregnant.

Análisis de los carbonatos: se hace la lectura de los carbonatos de la solución sobre nadante, solución de enjuague, solución de lavado de ácido.

- **Solución sobre-nadante:** Solución residual que queda después de calentar.
- **Solución de enjuague:** El agua destilada usada para lavar el vaso en forma suave después de calentar.
- **Solución de lavado de ácido:** Es el agua con el ácido clorhídrico que se utiliza para atacar y lavar los carbonatos contenidos en las paredes del vaso.

Tabla N° 16 Prueba de inhibición de incrustamiento con PBA-1 y PBA-2 - Solución pregnant

Gasto de EDTA	PBA - 1 (1,0 ppm)			PBA - 1 (1,5 ppm)			PBA - 1 (2 ppm)			BLANCO		
	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO
Inicio	1,00	21,30	26,00	0,00	20,50	24,50	0,00	21,00	26,00	0,00	14,00	20,10
Fin	11,10	23,30	26,95	10,20	22,90	25,50	10,00	23,30	26,90	6,55	17,00	23,40
Diferencia	10,10	2,00	0,95	10,20	2,40	1,00	10,00	2,30	0,90	6,55	3,00	3,30
Inicio	11,10	23,30	27,00	10,20	22,40	25,50	10,50	23,30	26,90	6,70	17,00	23,40
Fin	21,20	25,40	28,00	20,50	25,00	26,45	20,50	25,60	27,90	13,20	20,10	26,70
Diferencia	10,10	2,10	1,00	10,30	2,60	0,95	10,00	2,30	1,00	6,50	3,10	3,30
CaCO₃ (ppm)	2091,39	424,49	201,89	2122,45	517,67	201,89	2070,68	476,26	196,71	1351,12	631,56	683,32

Gasto de EDTA	PBA - 2 (1,0 ppm)			PBA - 2 (1,5 ppm)			PBA - 2 (2 ppm)		
	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO	SOLUCION SOBRENADANTE	SOLUCION DE ENJUAGUE	SOLUCION DE LAVADO ACIDO
Inicio	0,00	20,00	24,10	1,00	21,30	25,30	0,00	21,00	25,60
Fin	10,00	22,00	25,15	11,10	23,30	26,40	10,00	23,20	26,65
Diferencia	10,00	2,00	1,05	10,10	2,00	1,10	10,00	2,20	1,05
Inicio	10,00	22,10	25,30	11,10	23,30	26,50	10,00	23,20	26,70
Fin	19,90	24,10	26,40	21,10	25,25	27,55	20,00	25,45	27,75
Diferencia	9,90	2,00	1,10	10,00	1,95	1,05	10,00	2,25	1,05
CaCO₃ (ppm)	2060,33	414,14	222,60	2081,03	408,96	222,60	2070,68	460,73	217,42

Tabla N° 17 Determinación del porcentaje de incrustación utilizando PBA-1 y PBA-2 - Solución pregnant

Volumenes por Etapa	Unidad	PBA - 1			PBA - 2			BLANCO
		1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	
Inicial	ml	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Sol. Sobrenadante (aprox 40%)	ml	199,1	197,3	200,1	200,1	199,1	198,3	200,2
Sol. Enjuague	ml	25,1	25,1	25	25	25,3	25,1	25
Sol. Lavado Acido	ml	310	310	310	310	310	310	310

Tipo de Solución	Unidad	PBA - 1			PBA - 2			BLANCO
		1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	
Solución Sobrenadante	CaCO ₃ (mg)	416,40	418,76	414,34	412,27	414,33	410,62	270,49
Solución de Enjuague	CaCO ₃ (mg)	10,65	12,99	11,91	10,35	10,35	11,56	15,79
Solución de Lavado Acido	CaCO ₃ (mg)	62,59	62,59	60,98	69,01	69,01	67,40	211,83
Total	CaCO ₃ (mg)	489,64	494,34	487,23	491,63	493,69	489,58	498,11
Porcentaje Incrustación	%	12,78	12,66	12,52	14,04	13,98	13,77	42,53

El anti-incrustante PBA – 1 con una dosificación de 2 ppm es la más idónea para la dosificación para las pruebas a realizarse en planta.

3.2. Prueba en Planta – Segunda Etapa.

La finalidad de la prueba en planta es poder ver el efecto del Anti-incrustante PBA-1 en los equipos y tuberías de la planta, comparando las entradas y salidas de estos durante los diferentes momentos de monitoreo.

La prueba en planta tiene como objetivo tres puntos:

- En la etapa de lixiviación el anti-incrustante impide que las tuberías, aspersores, goteros, bombas etc., se encalichen, logrando con esto mantener los flujos estipulados para la operación de la planta, reduciendo significativamente las labores de mantenimiento, reemplazo de piezas, etc.
- En el proceso Merrill Crowe: actúa principalmente en los filtros clarificadores y prensa, evitando el encalichamiento por parte de las sales solubles en los elementos filtrantes.
- Es muy importante evitar el encalichamiento de los elementos filtrantes ya que esto permite mayores ciclos de operación, menos tiempo y cantidad de paradas por lavados, menor empleo de ácidos, reducir la humedad del precipitado, etc.

3.2.1. Ubicación de los puntos de dosificación y muestreo.

La ubicación de los puntos de dosificación y muestreo están íntimamente relacionados;

En los puntos de dosificación se busca que el anti-incrustante actúe directamente sobre los equipos que sufren los efectos de las incrustación de carbonatos, en este caso se dosifica directamente sobre la entrada a la planta de Merrill Crowe y sobre la solución lixiviante barren, buscando que actué sobre los filtros clarificadores, filtros prensa en el primer caso y sobre las mangueras para el riego por goteo en el segundo caso.

En cuanto a los puntos de monitoreo se ubicaron de tal manera que nos permitan evaluar en base a los valores obtenidos el efecto del anti-incrustante sobre los equipos que son afectados por las incrustaciones normalmente, tales como son los filtros clarificadores, filtros prensa, y las mangueras para el riego por goteo, es decir a la entrada y salida de cada uno de estos equipos.

3.2.2. Monitoreo de carbonatos.

Desde el 18 de julio hasta el 5 de septiembre del 2008 (50 días) se realizaron las mediciones en cada punto tres veces al día tomando el promedio; este monitoreo se dividió en 03 partes:

3.2.2.1. Partes del Monitoreo.

A. La primera parte (sin reactivo):

Se realizo desde el 18 de julio hasta el 21 de julio del 2008, esta parte se realiza el monitoreo de la planta sin reactivo, con ello se evalúa las condiciones iniciales en que se encuentran los carbonatos.

B. La segunda parte (con reactivo):

Se realizo desde el 22 de julio hasta el 27 de agosto del 2008, en esta parte se realiza el monitoreo de la planta utilizando el anti-incrustante PBA-1, para ver su efecto, a su vez esta segundo parte se subdivide en tres etapas:

- **En el punto A de dosificación:**

En este punto se tuvo problemas en dosificación debido a un tema de las presiones que ejercía la tubería, por esto del 22 de julio hasta el 26 de julio que se realizo la parada se dosifico 0.5 ppm de anti-incrustante, luego de colocar un niple que ayudo en aumentar la dosificación hasta **1,3 ppm** de anti-incrustante, dosificación que se mantuvo hasta el final de la prueba.

- **En el punto B de dosificación:**

1^{era} etapa desde 22 al 23 julio, se adiciona **6 ppm** del anti-incrustante en el sistema de riego, con la finalidad de hacer una limpieza fuerte de todo el sistema.

2^{da} etapa del 24 de julio al 05 agosto, se reduce a **3 ppm** del anti-incrustante en el sistema de riego, es una etapa intermedia en donde se continúa con la limpieza pero se va reduciendo la dosificación para llegar a la concentración de operación.

3^{era} etapa 06 de agosto al 27 de agosto, se reduce a **2 ppm** del anti-incrustante, este valor vendría a ser el valor idóneo de operación, con el cual se debe trabajar de aquí en adelante.

C. La tercera parte (sin reactivo):

Desde el 29 de agosto hasta el 05 de septiembre, en esta parte se realiza el monitoreo de la planta sin reactivo, para ver cómo sin la adición de reactivo nuevamente el sistema comienza a sufrir el efecto de formación de los carbonatos.

3.2.2.2. Puntos de monitoreo.

Se toman puntos de monitoreo considerando los equipos y secciones en donde se sufre los efectos del encalichamiento, estos puntos los vamos a identificar con la siguiente numeración (*ver diagrama de flujo de la planta*):

- 1. Solución entrada al clarificador (pregnant)**
- 2. Solución salida del clarificador**
- 3. Solución Barren o salida de filtros precipitación**
- 4. Solución lixiviante intermedia.**
- 5. Solución lixiviante barren.**
- 6. Solución mangueras (goteros).**
- 7. Solución pregnant Intermedia.**
- 8. Solución pregnant Rica**

DIAGRAMA DE FLUJO - Puntos de muestreo y Dosificación de Antiincrustante (PBA - 1)

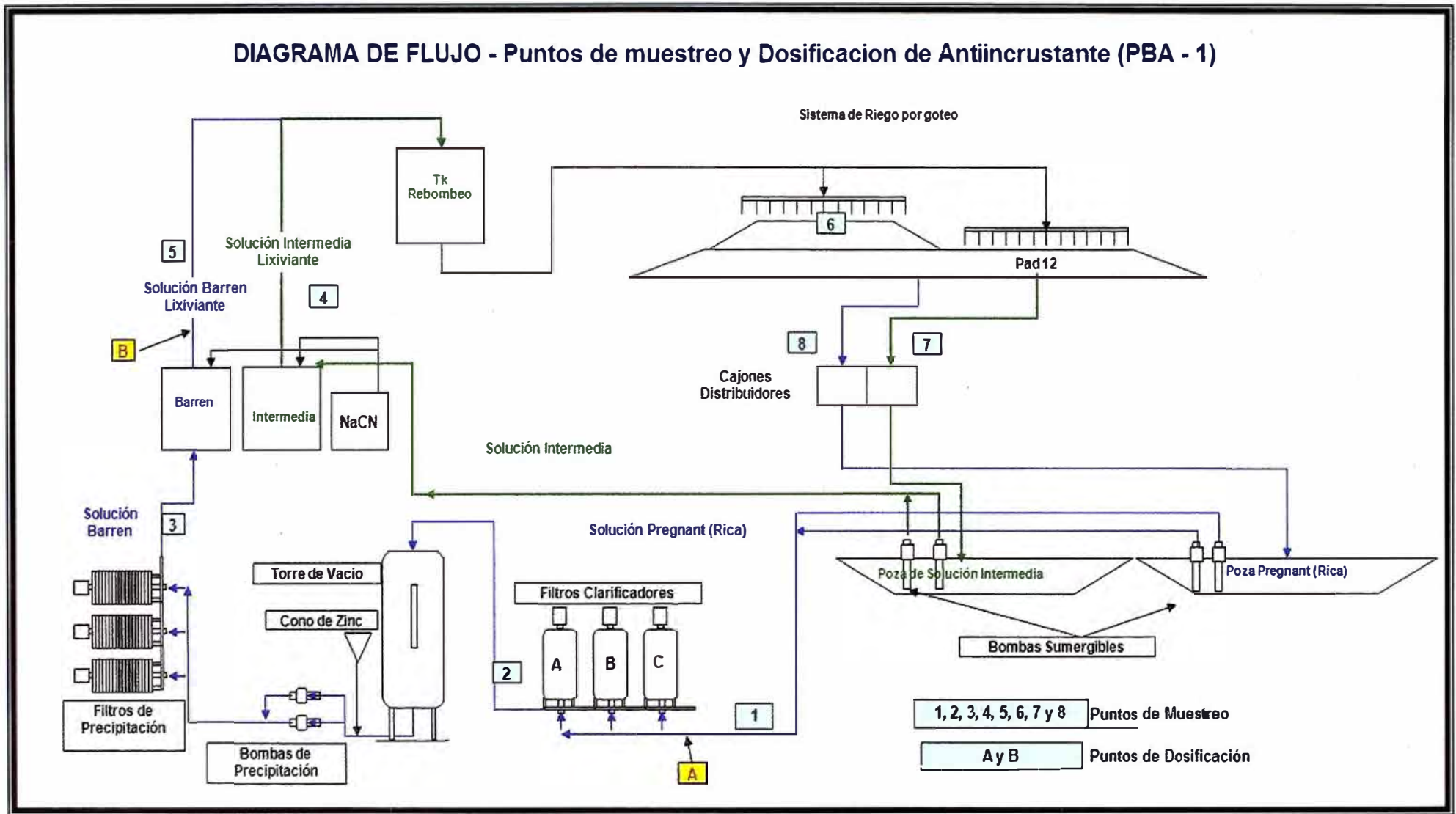


Figura N° 7.- Diagrama de flujo del proceso Merrill Crowe indicando los puntos de dosificación y monitoreo

Tabla N° 18.- Resultados obtenidos durante el monitoreo de carbonatos

CARBONATOS (ppm)														
1	2	3	4	5	6	7	8							
FECHA	Sol. Entrada del Clarificador (Pregrado)	Sol. Salida del Clarificador	Sol. Barren	Sol. Lavante Intermedia	Sol. Lavante Barren	Solución Mangueras (goteros)	Sol. Pregrado Intermedia	Sol. Pregrado Rior						
18-Jul	583,24	572,89	559,08	565,99	582,53	559,08	565,99	585,99	1era parte Sin Reactivo					
19-Jul	581,52	587,71	559,08	552,18	584,28	555,63	560,81							
20-Jul	593,59	579,79	572,89	569,44	569,44	559,08	572,89	559,08						
21-Jul	588,42	587,71	562,53	582,53	576,34	559,08	567,71	585,99	6 ppm	3 ppm Sistema de riego				
22-Jul	Dosisificación de Sokalan AS5Y (6 ppm) 07:00 horas													
23-Jul	581,52	579,79	581,52	567,71	574,81	578,06	565,99	578,06						
24-Jul	574,61	576,34	579,79	585,99	587,71	572,89	578,34	576,34						
25-Jul	571,16	579,79	588,42	575,28	578,06	579,79	574,61	555,99						
26-Jul	Parada de planta													
27-Jul	583,24	595,32	597,05	567,4300	559,08	567,71	574,61	595,32						
28-Jul	578,34	583,24	584,97	572,34	572,89	579,79	560,81	578,06						
29-Jul	578,34	581,52	588,89	590,12	572,89	588,42	588,89	572,89						
30-Jul	571,16	581,52	588,89	588,70	579,79	588,42	579,79	584,97						
31-Jul	581,52	579,79	588,42	588,42	572,89	588,42	581,52	578,06						
01-ago	578,06	583,24	583,24	581,52	581,52	590,14	590,14	571,16						
02-ago	579,79	579,79	597,05	588,45	572,89	590,14	579,79	578,06						
03-ago	Monitoreo del pad											2da parte Con Reactivo	2 ppm Sistema de riego	
04-ago														
05-ago														
06-ago														
07-ago	579,79	579,79	597,05	588,44	572,89	590,14	579,79	578,06						
08-ago	579,79	587,56	592,73	587,70	584,97	590,14	579,79	579,79						
09-ago	574,61	590,14	592,73	580,98	584,97	590,14	584,97	579,79						
10-ago	584,97	584,97	595,32	583,50	582,38	590,14	587,56	587,56						
11-ago	590,14	600,50	600,50	602,68	603,09	616,03	587,56	587,56						
12-ago	582,38	595,32	605,67	613,44	597,91	616,03	577,20	592,73						
13-ago	613,44	613,44	623,79	610,00	603,09	616,03	577,20	610,85						
14-ago	600,50	608,26	608,26	600,50	600,50	600,50	600,50	600,50						
15-ago	592,73	600,50	600,50	600,89	595,32	603,09	577,20	603,09						
16-ago	577,20	590,14	595,32	593,00	587,56	592,73	577,20	584,97						
17-ago	Monitoreo del pad								3era parte Sin Reactivo					
18-ago	574,61	590,14	590,14	589,44	590,14	579,79	579,79	590,14						
19-ago														
20-ago														
21-ago														
22-ago														
23-ago	572,66	592,78	602,80	592,60	572,66	592,78	572,66	592,78						
24-ago	582,71	587,78	597,78	607,83	597,78	617,87	587,84	602,80						
25-ago	582,71	602,80	612,85	592,78	602,80	607,83	577,69	602,80						
26-ago	597,78	602,80	607,83	572,66	592,78	587,73	577,69	592,78						
27-ago	592,78	592,78	602,80	612,85	622,90	622,90	582,71	602,80						
28-ago	602,80	602,80	602,80	612,85	607,83	607,83	587,73	592,78						
29-ago	602,80	612,85	612,85	602,80	612,85	602,80	572,66	602,80						
30-ago	612,38	583,20	597,78	581,33	597,78	575,91	581,33	590,49						
31-ago	600,50	600,50	600,50	583,91	590,14	579,79	559,08	605,67						
01-sep	621,20	600,50	600,50	579,79	600,50	579,79	589,44	600,50						
02-sep	597,78	583,20	583,20	583,20	583,20	588,62	588,62	583,20						
03-sep	597,78	588,82	588,82	583,20	583,20	588,62	588,62	597,78						
04-sep	612,38	583,20	597,78	583,20	583,20	588,62	584,04	583,20						
05-sep	612,38	583,20	583,20	583,20	597,78	584,04	588,62	597,78						
1era parte prom S/R	586,69	572,03	563,40	562,53	568,14	568,22	566,85	563,69						
2da parte prom C/R	583,63	590,84	596,40	588,41	586,36	594,28	579,46	587,43						
3era parte prom S/R	607,15	589,41	593,06	578,83	593,68	574,78	565,30	595,18						
Nota:	(*) El 26 de agosto a las 20 horas se acabo el reactivo que dosificaba en la entrada de los clarificadores y el 27 de agosto a las 5:00horas se termino el reactivo que dosificaba en el tanque barren.													

3.2.2.3. Comparación de los sistemas.

Las comparaciones que se hacen a continuación son en función del beneficio que se obtiene con la adición de este reactivo en el sistema, comparando los resultados obtenidos durante la prueba.

- **Primera comparación:** el punto (1) Solución entrada al clarificador vs. (2) Solución salida del clarificador, acá se busca reducir los carbonatos que se quedan en los filtros clarificadores, es decir que el **punto (1) < punto (2)**.
- **Segunda comparación:** el punto (2) solución salida del clarificador vs. (3) Solución barren o salida de filtros precipitación, acá se busca reducir los carbonatos que se quedan en los filtros de precipitación y en la torre de vacío, es decir que el **punto (2) < punto (3)**.
- **Tercera comparación:** el punto (4) solución lixiviante intermedia vs. (6) Solución mangueras (goteros), acá se busca reducir los carbonatos que se quedan en las mangueras específicamente obstruyendo los goteros, es decir que el **punto (4) > punto (6)**.

- **Cuarta comparación:** el punto (6) Solución mangueras (goteros) vs. (8) Solución pregnant rica, acá se busca que los carbonatos se queden depositados en las Pilas o PAD eliminándolos del sistema **punto (6) > punto (8).**
- **Resumen del sistema Merrill Crowe:** el punto (1) Solución entrada al clarificador vs. (3) Solución Barren acá se compara la entrada y salida de todo el sistema de Merrill Crowe (filtros clarificadores, torre de vacío, filtro prensa, bombas y tuberías) **punto (3) > punto (1).**

Figura N° 8.- Primera Comparación

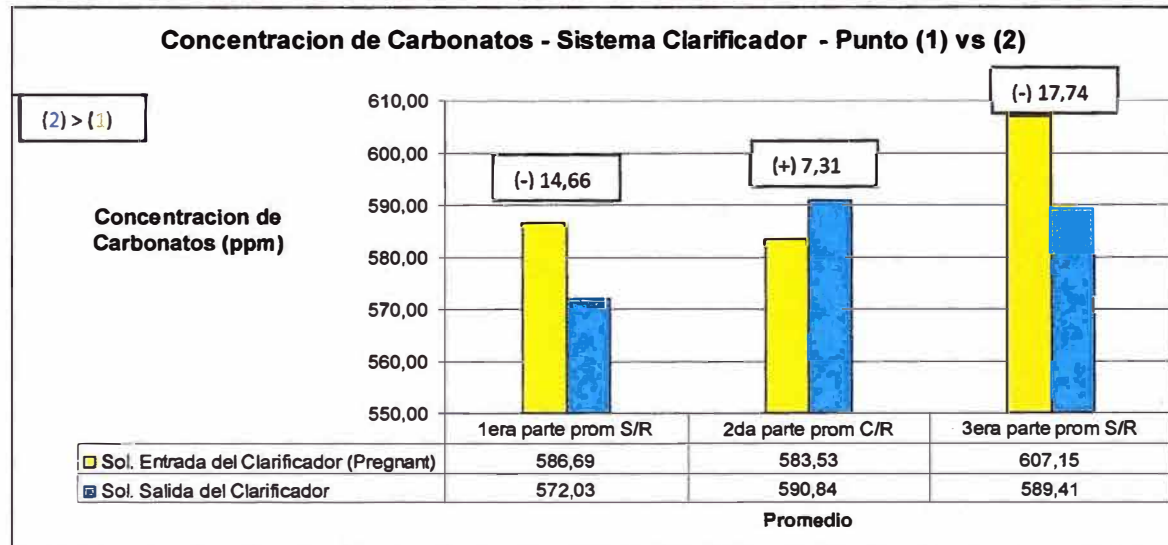
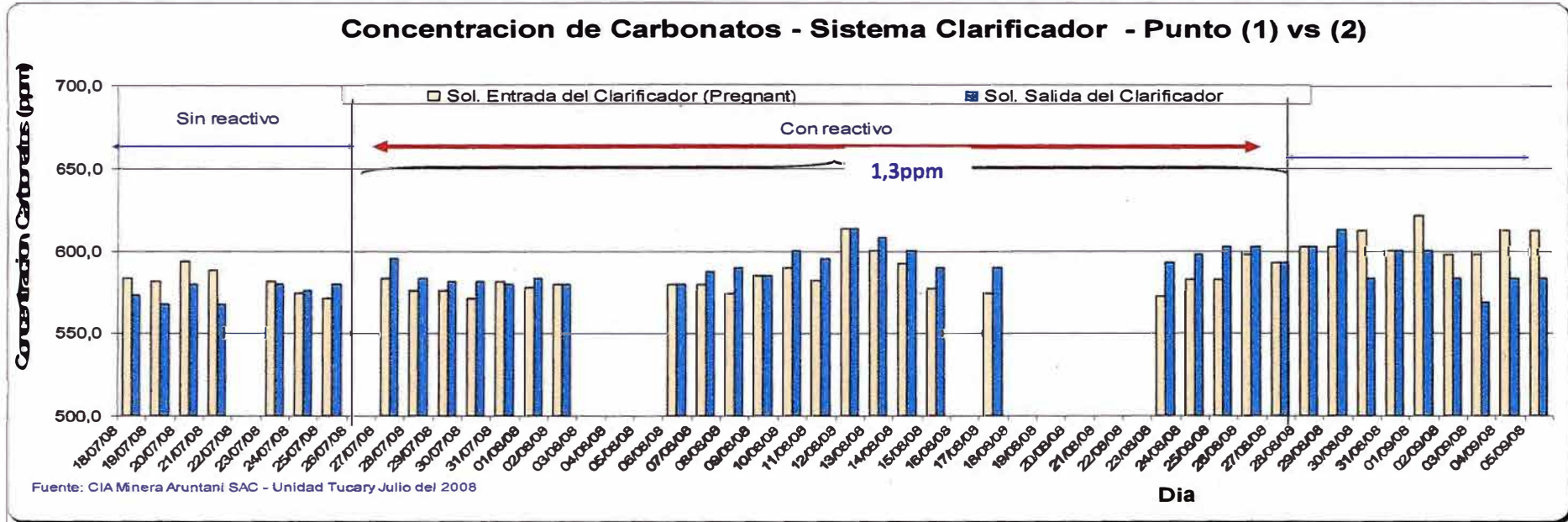
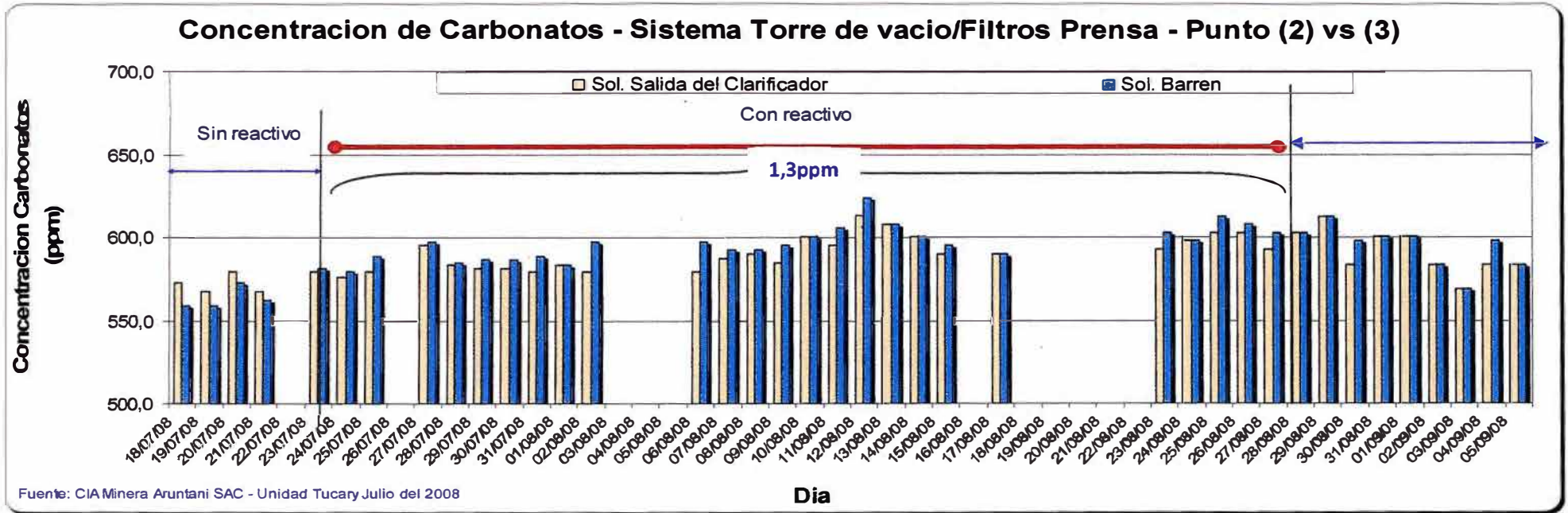


Figura N° 9.-Segunda Comparación



Fuente: CIA Minera Aruntani SAC - Unidad Tucary Julio del 2008

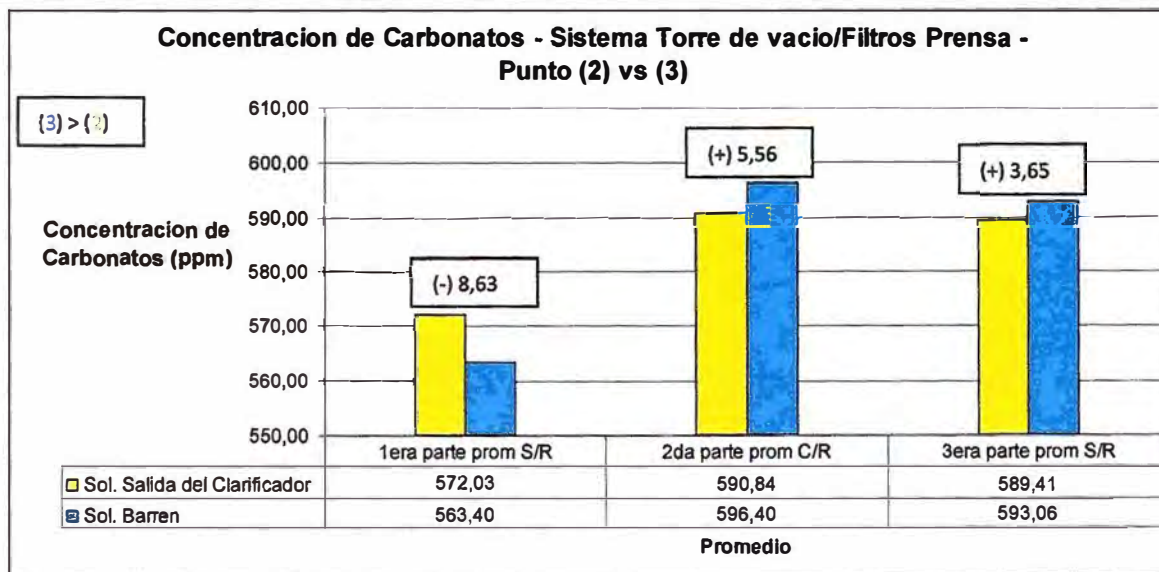


Figura N° 10.-Tercera Comparación

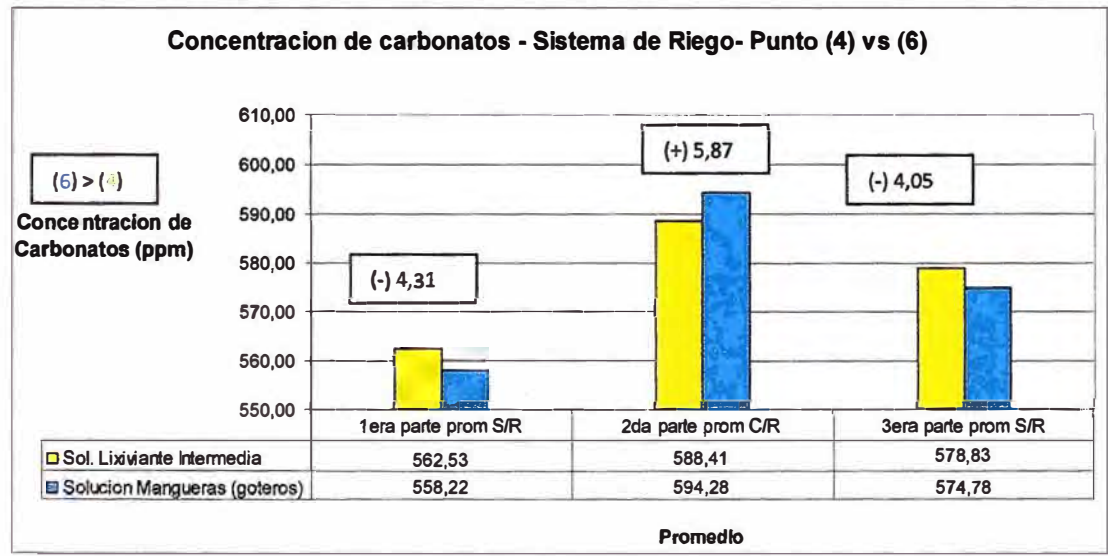
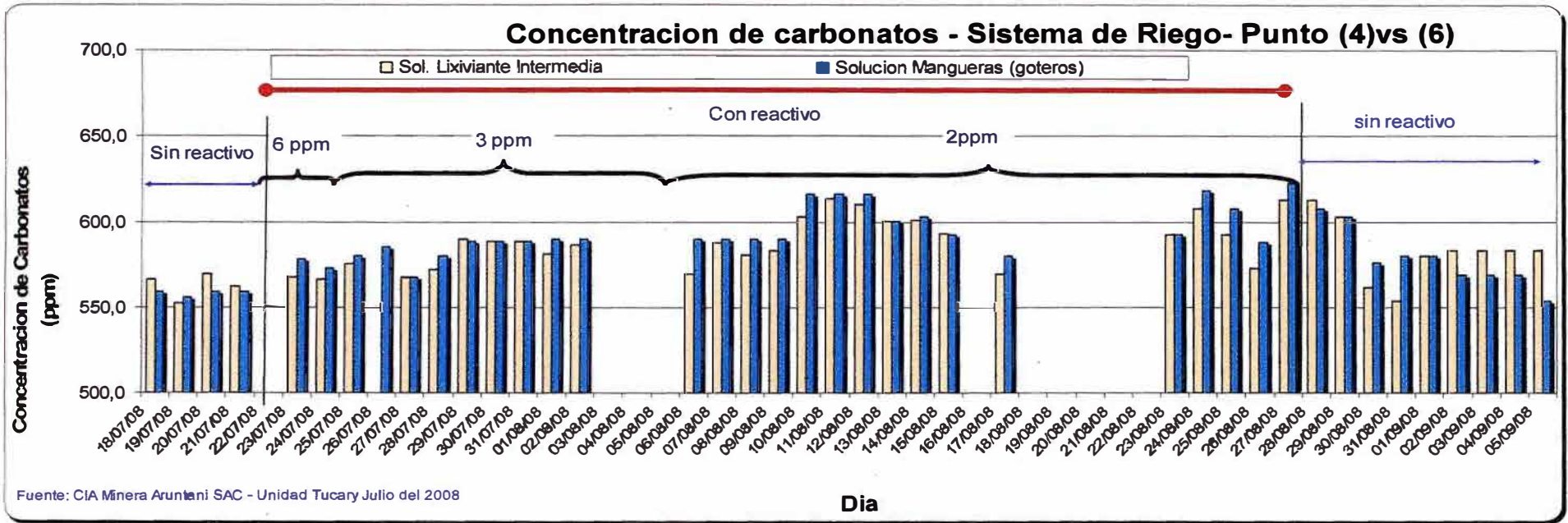


Figura N° 11.-Cuarta Comparación

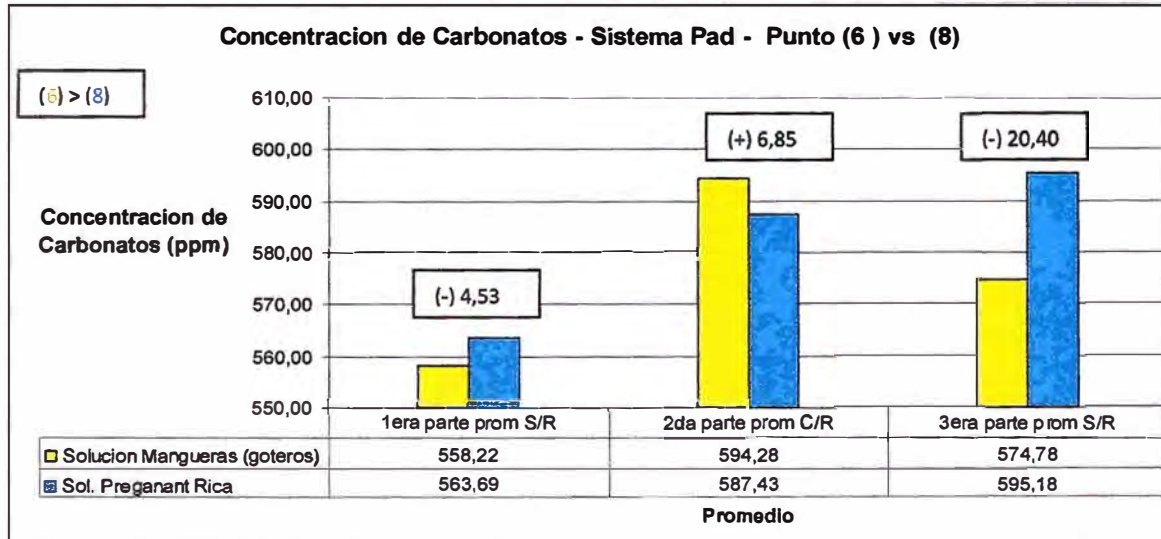
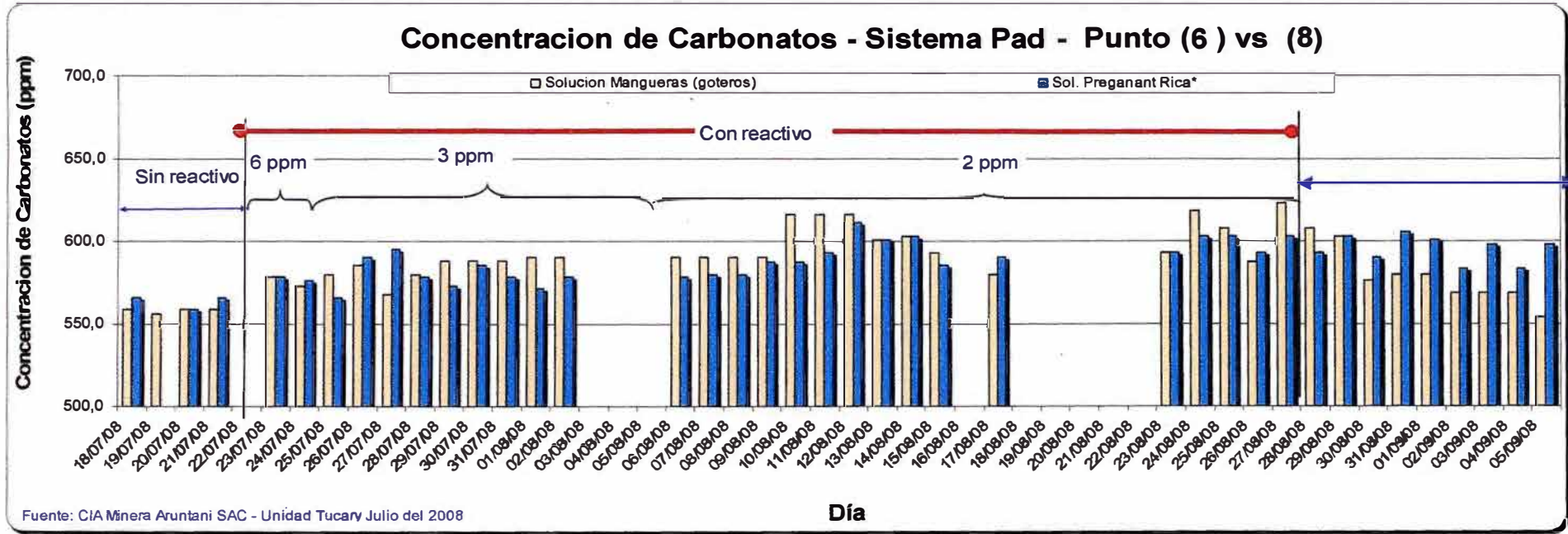
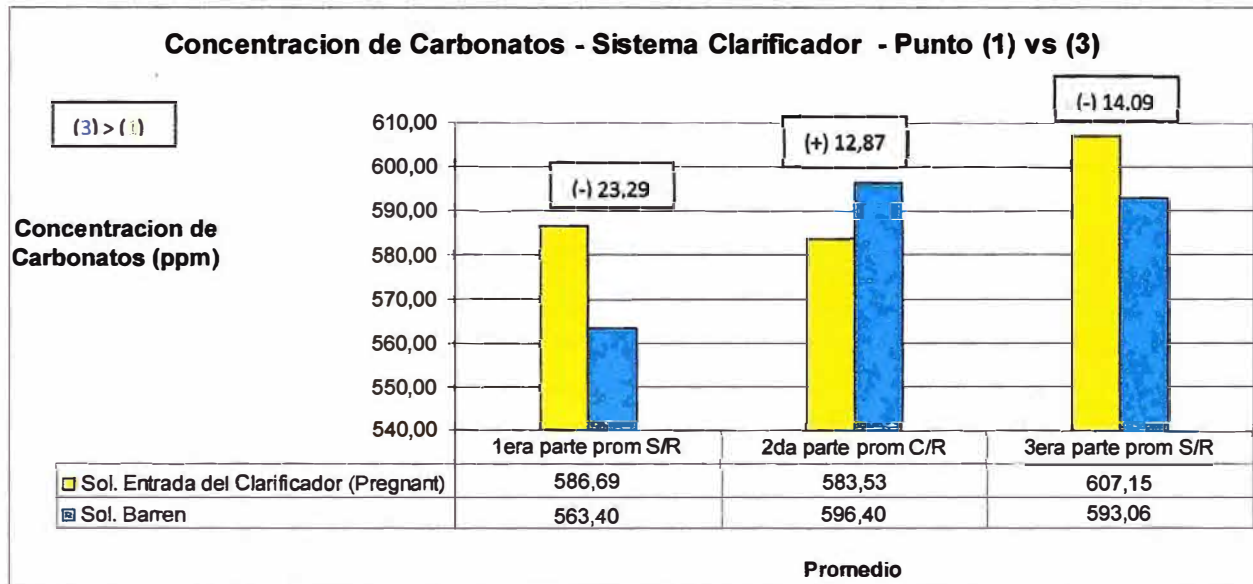
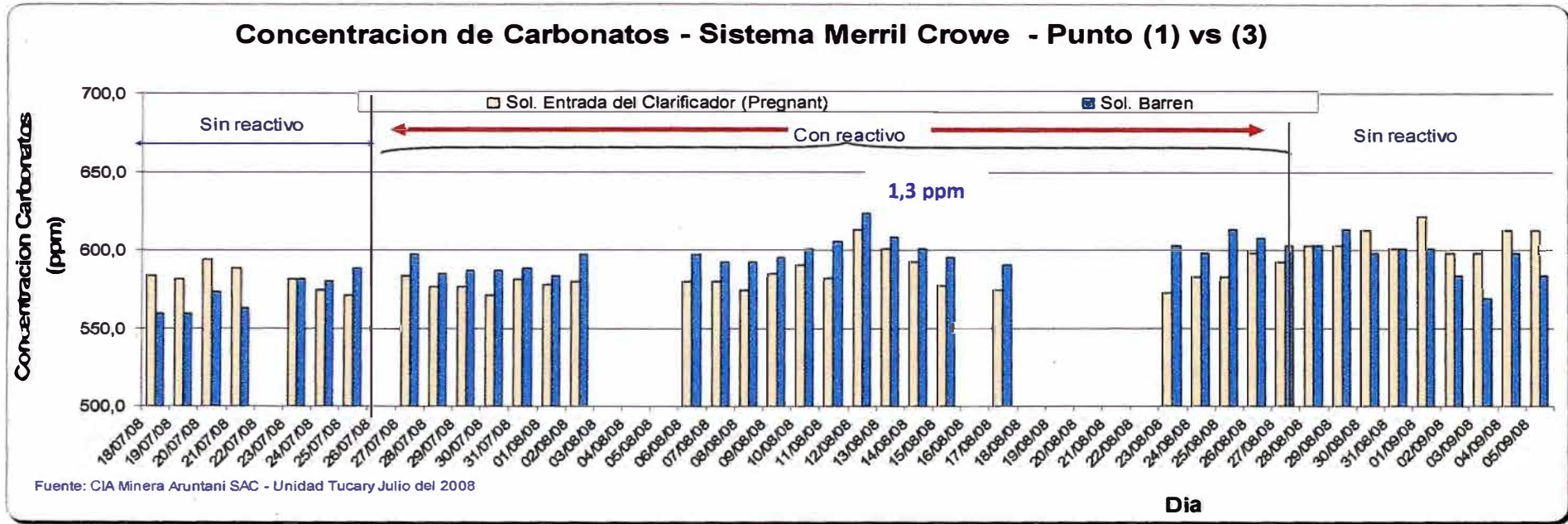


Figura N° 12.-Resumen del Sistema Merrill Crowe



3.2.3. Índice de taponamiento y coeficiente de uniformidad.

Igualmente se hizo un seguimiento del coeficiente de uniformidad y del porcentaje de taponamiento de las mangueras de riego durante las 3 partes mencionadas (en los primeros días de la dosificación, en los días finales de la dosificación y después de haber transcurrido algunos días de haber dejado de dosificar el anti-incrustante); los resultados de este seguimiento se aprecia en el siguiente cuadro:

Tabla N° 19.- Resultados obtenidos: Coeficiente de uniformidad y Porcentaje de taponamiento

	RESUMEN COMPARATIVO - LIFT 5								
	Mangueras Nuevas Celda 60			Mangueras Segundo Uso Celda 59			Mangueras Lavadas Celda 04		
Inicio de dosificación Antiincrustante	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008	22/07/2008
Final de dosificación de Antiincrustante	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008	27/08/2008
Inicio de Riego de lixiviación	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008	05/08/2008
Fecha de Evaluación	08/08/2008	25/08/2008	03/09/2008	10/08/2008	26/08/2008	04/09/2008	09/08/2008	27/08/2008	04/09/2008
Flujo de Riego (Lt/h)	15,06	15,26	14,07	12,53	11,60	10,36	14,64	11,28	12,16
Rate (Lt/h.m ²)	20,21	20,48	18,88	18,19	16,84	15,05	13,40	10,32	11,13
N° de días con reactivo	22	22	22	22	22	22	22	22	22
N° de días transcurridos del inicio	3	20	29	5	21	30	4	22	30
Coef. Uniformidad (CU)	94,2	94,0	93,0	46,9	48,1	45,9	62,7	63,1	60,5
Diferencias %	0,0	-0,2	-1,1	0,0	2,5	-4,5	0,0	0,6	-4,1
% Taponamiento	1,28	1,19	1,92	3,08	2,54	3,25	7,06	5,36	8,18
Diferencias %	0,00	-7,14	61,54	0,00	-17,31	27,91	0,00	-24,00	52,63
	Con Antiincrustante Inicio	Con Antiincrustante Final	Sin Antiincrustante	Con Antiincrustante Inicio	Con Antiincrustante Final	Sin Antiincrustante	Con Antiincrustante Inicio	Con Antiincrustante Final	Sin Antiincrustante

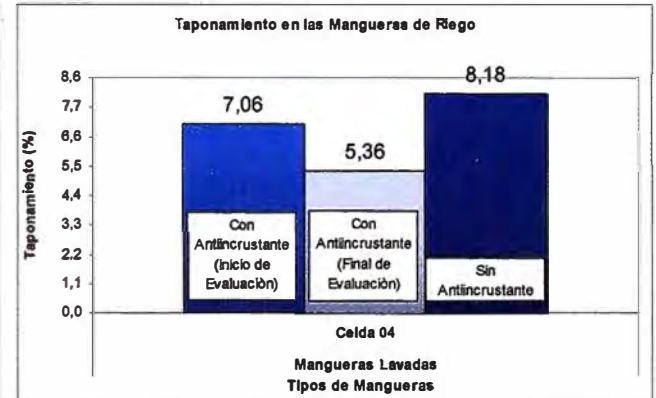
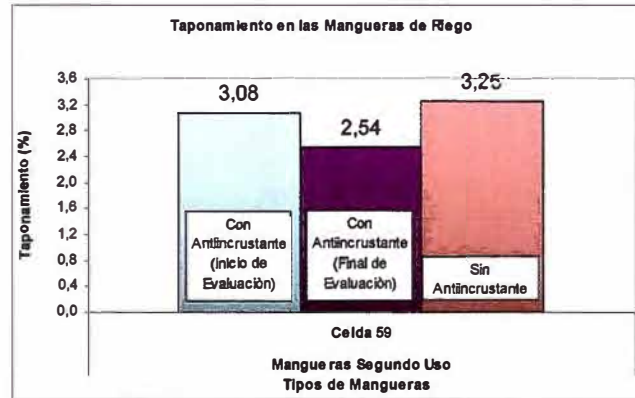
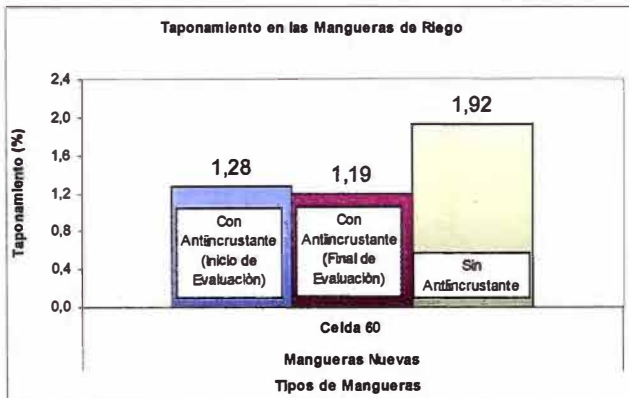
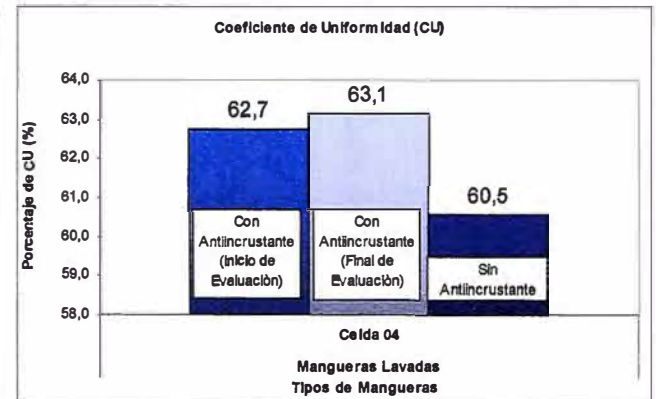
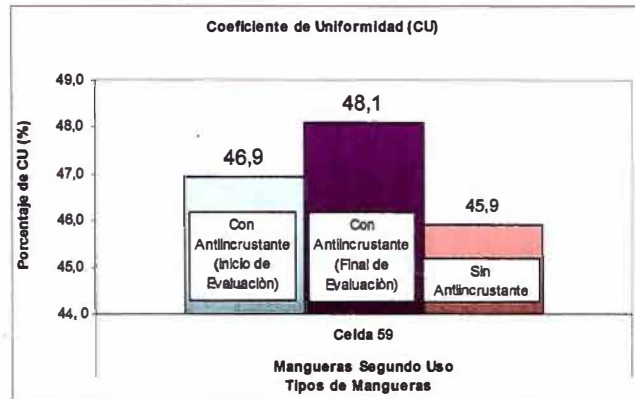
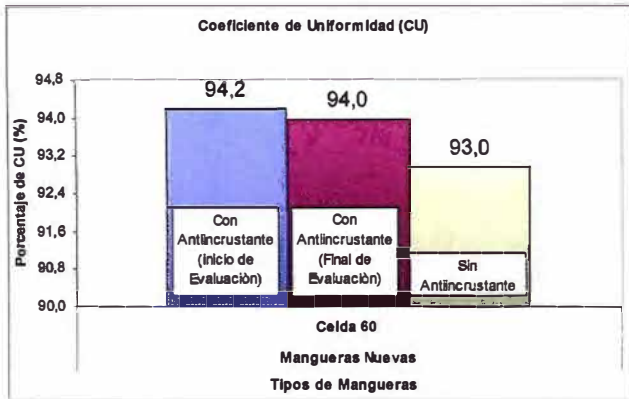


Figura N° 13.- Variación del coeficiente de uniformidad y porcentaje de taponamiento durante las tres etapas

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. De las Pruebas de Laboratorio.

Muestra	Stress a 400ppm Na ₂ CO ₃ (NTU)	Efecto Umbral a 1,5 ppm de PBA	Efecto Umbral a 1,5 ppm de PBA	Inhibición de Incrustación PBA-1 en %			Inhibición de Incrustación PBA-1 en %		
		1	2	1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm	1,0 ppm	1,5 ppm	2,0 ppm
Solución Lixivante Barren	26,31	22,16	23,46	8,83	8,49	8,47	11,12	11,09	10,78
Solución Pregnant	31,24	29,11	29,91	12,78	12,66	12,52	14,04	13,98	13,77

4.1.1. Determinación de la Curva de stress.

Se determinó el punto de saturación con carbonatos tanto de las soluciones lixiviantes barren de riego como de la solución pregnant, alcanzando dicho punto de saturación con 400 ppm de Na₂CO₃; obteniendo los mayores valores en turbiedad de 26,31 NTU para solución lixivante barren y de 31,24 NTU para la solución pregnant; al adicionar mayores cantidades de Na₂CO₃ la turbiedad disminuyó; esto se observó en todas las soluciones cianuradas; cabe mencionar que el nivel de carbonatos estuvo al final en 986,65 a 996,15 ppm debido a la adición Na₂CO₃ en comparación a los 560,7 a 582,38 ppm iniciales de la solución lixivante barren y la solución pregnant respectivamente. De esta manera se completa esta primera parte de ensayos con resultados que guardan una

relación similar (punto de saturación) para las distintas soluciones cianuradas evaluadas.

4.1.2. Prueba de Efecto Umbral.

En esta etapa se evaluó el efecto de agente Dispersante / anti-incrustante y de acuerdo a los resultados anteriores se obtuvo una similitud en cuanto a la dosis mas adecuada a utilizar en la evaluación de las soluciones cianuradas con el fin de evitar la formación de micro-cristales de carbonatos en suspensión; para medir este efecto se utiliza como referencia la medida más baja de la turbidez en las soluciones evaluadas, un buen anti-incrustante mantiene bien dispersos los iones causantes del incrustamiento.

Luego de evaluar dos tipos de anti-incrustantes diferentes, se encontró que la dosis necesaria para obtener la mejor dispersión de los iones y por consiguiente el mas bajo valor de turbidez es de 1,5 ppm en todas las soluciones cianuradas, la única diferencia es que con el anti-incrustante PBA-1 se obtuvieron los valores más bajos de turbidez en todas las soluciones cianuradas evaluadas (22,16 NTU para solución lixivante barren y de 29,11 NTU para solución pregnant). Para corroborar su eficiencia los resultados de la tercera y última etapa de evaluación mostraran la tendencia final.

4.1.3. Prueba de inhibición de incrustamientos.

En esta etapa final se demuestra el efecto anti-incrustante propiamente dicho de los agentes químicos evaluados, se comprobó que el anti-incrustante PBA-1 resulto ser más efectivo que el PBA-2; pues luego de los ensayos finales de incrustamiento de las soluciones cianuradas bajo los mismos criterios de evaluación (Temperatura, Volumen, Concentración de Na_2CO_3 , etc..) se observa que los mas bajo contenidos de carbonatos incrustados en los recipientes se obtienen con 2 ppm de anti-incrustante PBA-1 (para todos los casos), inclusive con 1 y 1,5 ppm de PBA-1 los niveles de incrustamiento son menores que los obtenidos con 2 ppm de PBA-2.

Para optimizar la dosis de anti-incrustante y por ende el consumo a nivel industrial se procedió a efectuar la prueba industrial con 2 ppm para la tubería de la solución lixivante barren y 1,3 ppm en la tubería matriz que alimenta a los filtros clarificadores (solución pregnant) siendo muy buenos los resultados como se verá mas adelante a pesar de que esta dosis se debió más a problemas de la bomba dosificadora debido a la presión de la tubería matriz.

4.2. De las Prueba en Planta a nivel Industrial.

4.2.1. Monitoreo de los carbonatos en Planta.

ETAPA	1	2	Diferencia en ppm 2 - 1	2	3	Diferencia en ppm 3 - 2	Diferencia en ppm 3 - 1
	Sol. Entrada del Clarificador (Pregnant)	Sol. Salida del Clarificador		Sol. Salida del Clarificador	Sol. Barren		
1era parte prom S/R	586,69	572,03	-14,67	572,03	563,40	-8,63	-23,30
2da parte prom C/R	583,53	590,84	7,31	590,84	596,40	5,55	12,87
3era parte prom S/R	607,15	589,41	-17,74	589,41	593,06	3,65	-14,09

ETAPA	4	6	Diferencia en ppm 6 - 4	6	8	Diferencia en ppm 6 - 8
	Sol. Lixiviante Intermedia	Solucion Mangueras (goteros)		Solucion Mangueras (goteros)	Sol. Pregnant Rica*	
1era parte prom S/R	562,53	558,22	-4,31	558,22	563,69	-5,46
2da parte prom C/R	588,41	594,28	5,87	594,28	587,43	6,85
3era parte prom S/R	578,83	574,78	-4,05	574,78	595,18	-20,40

A nivel industrial se procedió a efectuar la prueba utilizando el PBA-1 con 6 ppm, 3 ppm 2 ppm en la solución lixiviante barren, y 1,3 ppm dosificando en la solución pregnant de la tubería matriz que alimenta a los filtros clarificadores, parte de esta disminución de la dosis de Anti-incrustante PBA-1 en la solución pregnant se debió a problemas con la bomba dosificadora y la temperatura muy baja (< 5 °C en la madrugada).

Como se puede ver en las comparaciones de (1 con 2), (2 con 3) y (4 con 6) las solución de salida en la etapa con reactivo muestran en promedio 6 ppm más de carbonatos que salen del equipo lo que denota que el reactivo inhibe la formación de incrustaciones y mas aun tiene un efecto de remover y limpiar de estas al equipo.

En la comparación de los puntos (6 con 8) se denota que los carbonatos se están depositando en el PAD lo cual trae un efecto positivo ya que saca del sistema estos carbonatos.

El efecto de remover incrustaciones antiguas y de inhibir nuevos incrustamientos queda demostrado totalmente al utilizar el agente PBA-1, tal como lo demuestran los cuadros mostrados arriba donde se aprecia las comparaciones de los diferentes puntos de monitoreo

Sin anti-incrustante las soluciones de ingreso registran valores mayores que la salida de un sistema o equipo en evaluación.

Con anti-incrustante las diferencias se revierten donde la salida registra valores mayores que el ingreso, por la remoción de incrustaciones antiguas, todo esto se observa en los cuadros anteriores.

4.2.2. Índice de taponamiento y coeficiente de uniformidad.

RESUMEN COMPARATIVO - LIFT 5									
	Mangueras Nuevas Celda 60			Mangueras Segundo Uso Celda 59			Mangueras Lavadas Celda 04		
N° de días transcurridos del inicio	3	20	29	5	21	30	4	22	30
Coef. Uniformidad (CU)	94,2	94,0	93,0	46,9	48,1	45,9	62,7	63,1	60,5
Diferencias %	0,0	-0,2	-1,1	0,0	2,5	-4,5	0,0	0,6	-4,1
% Taponamiento	1,28	1,19	1,92	3,08	2,54	3,25	7,06	5,36	8,18
Diferencias %	0,00	-7,14	61,54	0,00	-17,31	27,91	0,00	-24,00	52,63
	Con Antíincrustante Inicio	Con Antíincrustante Final	Sin Antíincrustante	Con Antíincrustante Inicio	Con Antíincrustante Final	Sin Antíincrustante	Con Antíincrustante Inicio	Con Antíincrustante Final	Sin Antíincrustante

A. Coeficiente de uniformidad.

Los resultados de coeficiente de uniformidad del sistema de riego localizado de las 03 celdas (60, 59 y 04) del Lift 5 en todos los casos muestran las bondades del agente anti-incrustante PBA-1 como agente inhibidor y eliminador de incrustaciones (ver cuadro anterior).

En las mangueras nuevas se observa una diferencia escasa e imperceptible al inicio por ser mangueras nuevas no podemos tomar en cuenta esta diferencia para establecer una conclusión clara del efecto del PBA-1, pero si es posible comparar el resultado final después de 07 días sin el PBA-1 en el riego el coeficiente de uniformidad bajo de 94,0% a 93,0% (disminuyo en 1,1% respecto a la 2da evaluación).

En las Mangueras de 2^{do} uso (sin lavado con acido), se observa el efecto eliminador de incrustaciones del PBA-1 pues al inicio el coeficiente de uniformidad fue de 46,9% y luego de 20 días de dosificación el coeficiente se elevó a 48,1% (un incremento de 2,5% respecto a la 1era evaluación), pero luego de 8 días sin anti-incrustante el coeficiente cayó a 45,9% (disminución de 4,5% respecto a la 2da evaluación); en estos valores finales se observan pues el efecto negativo de un mal sistema de riego localizado, con consecuencias negativas

En las mangueras lavadas con acido la diferencia es menor luego de 22 días de dosificación de 62,7% contra 63,1% (un incremento de

0,6%) al ser mangueras de varios usos y lavadas con ácido las incrustaciones son mayores y difíciles de eliminar; sin embargo luego de 8 días sin reactivo la disminución del coeficiente de uniformidad fue de 4,1% respecto a la 2da evaluación (de 63,1% a 60,5%) con efectos finales muy negativos en la producción final.

B. Índice de Taponamiento.

En cuanto al nivel de taponamiento (% agujeros totalmente obstruidos) el efecto es mucho más notable pues la turbidez de la solución de riego aumenta la posibilidad de tapar agujeros al quedar algunas micro-partícula de suciedad sobre estos, y aunado a las incrustaciones que igualmente obstruyen los agujeros.

En las mangueras nuevas se muestran valores mínimos entre la 1era y 2da evaluación a pesar que la disminución del índice de taponamiento fue de 1,28% a 1,19% (disminuyó en 7,14%), esto se puede desprestigiar por ser mangueras nuevas, que en ambos momentos la evaluación se efectuó cuando se utilizaba el anti-incrustante PBA-1 y que solo se destapó 01 agujero. Al dejar de dosificar el PBA-1 subió de 1,19% a 1,92% entre la 2da y 3era evaluación (aumento en un 61,54%) lo que significa que se taparon 8 agujeros de un total de 1091 agujeros evaluados.

En las mangueras de 2^{do} uso entre la 1era y 2da evaluación el % de taponamiento bajó de 3,08% a 2,54% (disminución de 17,31% lo

que significa que se destaparon 9 agujeros), en la 3era evaluación y luego de 8 días sin anti-incrustante el taponamiento fue de 3,25% (un incremento de 27,9% respecto a la 2da evaluación) lo que significa que se taparon 12 agujeros de un total de 1691 agujeros evaluados.

En las mangueras lavadas entre la 1era y 2da evaluación el % de taponamiento bajo de 7,06% a 5,36% (disminución de 24,0% lo que significa que se destaparon 18 agujeros), entre la 2da y 3era evaluación y luego de 8 días sin anti-incrustante el taponamiento fue de 8,18%; (incremento de 52,6% lo que significa que se taparon 30 agujeros de un total de 1063 agujeros evaluados).

Estos valores evidencian el beneficio de usar anti-incrustante y a su vez el efecto adverso sin este dentro del riego localizado.

El correcto uso y buen monitoreo del agente anti-incrustante PBA-1 en el sistema de riego localizado ha permitido mejorar las condiciones de riego en cuanto al flujo y el ratio de riego haciendo de alguna manera más constante y homogéneo la dosificación de solución cianurada en las áreas evaluadas en el pad de lixiviación.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las bondades del PBA-1 como agente anti-incrustante inhibidor y eliminador de incrustaciones son muy evidentes de acuerdo a los resultados obtenidos.
- El efecto de la inclusión del anti-incrustante en los diversos equipos de planta de Merril Crowe, tales como filtros clarificadores, filtros prensa, tuberías matrices, bombas en general, y el mismo riego localizado, produjo mejoras en cuanto a la eliminación de incrustaciones antiguas y evitar la formación de nueva incrustación en los diversos filtros y tuberías y en las mangueras de riego.
- Con el uso del anti-incrustante PBA-1, se obtiene un incremento en las horas de producción, debido primordialmente por mayores periodos de uso de los filtros clarificadores y filtros tipo prensa, y por la disminución de los tiempos de parada para la limpieza de filtros clarificadores por formación de costras de carbonatos
- Se obtiene la disminución en el riesgo del personal, por la reducción del tiempo y uso del ácido clorhídrico en el lavado de filtros y mangueras de riego y a su vez por el menor tiempo de contacto con las soluciones

cianuradas durante estos procesos de lavado o mantenimiento de los filtros y mangueras.

- Como efecto adicional, se logra un ahorro de dinero por menor requerimiento de compra de ácido clorhídrico, de nuevas mangueras, de repuestos y equipos en general y de personal extra que era necesario para realizar estas labores de mantenimiento.
- Lo primordial resulta en que la producción no se afecte de manera alguna por los carbonatos con el uso del anti-incrustante, teniendo presente, que la calidad de la solución pregnant puede verse optimizada debido a un mejor riego en el Pad de lixiviación.
- La calidad de la solución pregnant puede verse mejorada debido a un mejor riego en el Pad de lixiviación, podemos inducir que este mejoramiento de la solución pregnant sea pequeño, no se cuantificó pero se puede apreciar de manera notable dicho efecto.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

1. Baird Colin, Seymour B. Raymond, Carraher E. Charles (2001). *Química Ambiental*. Reverte S.A.
2. Charles E. Mortimer - Química -. Edición 5.
3. Francisco Julián Trujillo Santacoloma. (2004). Soluciones acuosas: teoría y aplicaciones. Módulo de apoyo académico en química
4. *Gary W. Heinke (1999). Ingeniería Ambiental: edición 2*
5. Lapeña Rigola, Miguel (1999). *Tratamiento de Aguas Industriales: Aguas de Proceso y Residuales*. Alfa Omega – Marcombo.
6. Kemmer N., Frank, Mccallion, John (1997). *Manual del agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Tomo I*. México, Buenos Aires: Mc. Graw Hill.
7. Klein Cornelis, Hurlbut S. Cornelius. (1998). *Manual de Mineralogía 1*. Reverte S.A. Edición 4.
8. *Stanley E. Manahan (2007) – Introducción a la química ambiental*
9. Whitten W. Kenneth, Davis E. Raymond (2008). *Química*. Cengage Learning Editores. Edición 8.
10. Página de Internet. *Carbonatos calcita y Aragonita*
<http://ombquality.com/Fundamentos.html>

ANEXOS

Hoja Técnica PBA-1

Hoja técnica de reactivo Basf – Polímero de base acrílica

Reactivo Polimérico Orgánico

Agente Dispersante – Antiincrustante aplicado a procesos y operaciones metalúrgicas de cianuración de oro (Au), plata (Ag) como: Heap Leaching, cianuración de concentrados, y otros; tanto que empleen sistemas Merrill & Crowe como Carbón Activado.

Asimismo, aplicable en toda operación minera que trabaje con aguas duras que ocasionen incrustamientos y obstrucciones en los sistemas de conducción de líquidos, filtraciones, etc.

Propiedades

Naturaleza Química	Solución acuosa de un polímero acrílico, sal sódica		
Especificaciones del producto	Aspecto	Líquido incoloro a ligeramente amarillento viscoso y transparente	
	No volátiles	%	44 - 46
	Densidad (a 600 cps)	gr./cc	1,344
	Solubilidad en Agua	Soluble en agua	
	pH de Aplicación (200gl/, 23°C)	Aprox . 8	
	Temperatura de Solidificación	-20 °C	
	Punto de Inflamación	>100°C	(DIN 51758)

Aplicación

El PBA-1 es un agente auxiliar para la industria minero – metalúrgica, tanto Aurífera, Polimetálica y No Metálica.

El PBA-1 es un agente dispersante / antiincrustante que permite controlar y evitar los efectos causados por incrustamiento, siendo estos:

- Reducción del flujo de agua / soluciones en tuberías
- Pérdida de eficiencia en las bombas
- Eventual o periódicas interrupciones de la producción
- Obstrucción o saturación del Carbón Activado
- Obstrucción o taponeo de los pads de lixiviación
- Obstrucciones de los aspersores en las pilas de lixiviación
- Otros

Dosificación

Recomendamos dosificaciones de 2 ppm – 10 ppm en términos de base polímero seco (sustancia activa) y con respecto a m³ a complejidad del material a tratar.

Almacenaje

Tiempo de vida 12 meses

Seguridad

No conocemos efectos perjudiciales que resulten del empleo de PBA-1 en forma adecuada y para fines que se destina.

El producto PBA-1 no provoca daño o perjuicio a la salud cuando se manipula de forma adecuada, observándose las precauciones y protecciones necesarias para trabajar con productos químicos, así como las indicadas en nuestra ficha de seguridad.

Observaciones

La información suministrada en esta publicación esta basada en nuestro actual conocimiento y experiencia. En vista de los muchos factores que pueden afectar el procesamiento y aplicación, esta data no releva de la responsabilidad del usuario de realizar sus propias pruebas y experimentos. Ni ello implica alguna seguridad de ciertas propiedades o capacidades para un propósito específico.

Hoja Técnica - PBA-2

Hoja técnica de reactivo Basf – Polímetro de base acrílica

Reactivo Polimérico Orgánico

Agente Dispersante – Antiincrustante aplicado a procesos y operaciones metalúrgicas de cianuración de oro (Au), plata (Ag) como: Heap Leaching, cianuración de concentrados, y otros; tanto que empleen sistemas Merrill & Crowe como Carbón Activado.

Asimismo, aplicable en toda operación minera que trabaje con aguas duras que ocasionen incrustamientos y obstrucciones en los sistemas de conducción de líquidos, filtraciones, etc.

Propiedades

Naturaleza Química

Solución acuosa de un polímero acrílico, sal sódica

Especificaciones del producto

Aspecto

Líquido incoloro a ligeramente amarillento viscoso y transparente

No volátiles	%	29 - 31
Densidad (a 600 cps)	gr./cc	1,1 – 1,25
Solubilidad en Agua	Soluble en agua	
pH de Aplicación (200gl/, 23°C)	Aprox . 8	
Temperatura de Solidificación	-20 °C	
Punto de Inflamación	>100°C	(DIN 51758)

Aplicación

PBA-2 es un agente auxiliar para la industria minero – metalúrgica, tanto Aurífera, Polimetálica y No Metálica.

El PBA-2 es un agente dispersante / antiincrustante que permite controlar y evitar los efectos causados por incrustamiento, siendo estos:

- Reducción del flujo de agua / soluciones en tuberías
- Pérdida de eficiencia en las bombas
- Eventual o periódicas interrupciones de la producción
- Obstrucción o saturación del Carbón Activado
- Obstrucción o taponeo de los pads de lixiviación
- Obstrucciones de los aspersores en las pilas de lixiviación
- Otros

Dosificación

Recomendamos dosificaciones de 2 ppm – 10 ppm en términos de base polímero seco (sustancia activa) y con respecto a m³ a complejidad del material a tratar.

Almacenaje

Tiempo de vida 12 meses

Seguridad

No conocemos efectos perjudiciales que resulten del empleo de PBA-2 en forma adecuada y para fines que se destina.

El producto PBA-2 no provoca daño o perjuicio a la salud cuando se manipula de forma adecuada, observándose las precauciones y protecciones necesarias para trabajar con productos químicos, así como las indicadas en nuestra ficha de seguridad.

Observaciones

La información suministrada en esta publicación esta basada en nuestro actual conocimiento y experiencia. En vista de los muchos factores que pueden afectar el procesamiento y aplicación, esta data no releva de la responsabilidad del usuario de realizar sus propias pruebas y experimentos. Ni ello implica alguna seguridad de ciertas propiedades o capacidades para un propósito específico.

Anticongelante

Hoja técnica de reactivo Basf - Glystantin G 05

Glystantin G 05 is an engine coolant concentrate based on ethylene glycol. It contains a hybrid corrosion inhibitor package with nitrites, salts of organic acids and silicates. Glystantin G 05 is free of amines and phosphates.

Properties

Glystantin G 05 was developed to protect car, truck and bus engines of both ferrous and aluminium construction against corrosion and frost damage. It contains a blend of inhibitors designed to give a high degree of corrosion protection to engine components such as radiators, cylinder blocks/heads and water pumps. Due to its nitrite content this product is especially recommended for the use in heavy-duty engines.

Glystantin G 05 meets the requirements of the coolant standards ASTM D 3306, ASTM D 6210 and British Standard BS 6580:1992. Furthermore **Glystantin G 05** is approved according to the following OEM-standards:

- | | |
|----------------------|------------------------|
| • Chrysler | MS-9769 |
| • Mercedes-Benz | DBL 7700.20 Page 325.0 |
| • MTU | MTL 5048 |
| • John Deere | JDM H 24 |
| • Leyland | BLS.22.AF.01 |
| • Ford North America | WSS-M97B51-A1 |

Miscibility

Glystantin G 05 should possibly not be mixed with silicate free, OATengine coolants.

Glystantin G 05 must be diluted with water before use. It is hard water compatible and can be mixed with tap water* before filling into the cooling system to give solutions in the concentration range of 30 to 50 % by volume.

* For preparation of the coolant use clean, not overly hard water. Waste water from mining, sea water, brackish water, brine, industrial waste water are all unsuitable.

The analysis of the water should not exceed the following limits:

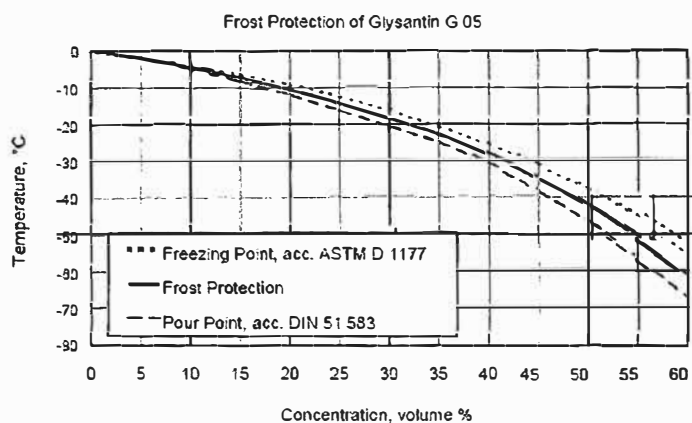
Water hardness: 0 to 20 °dH (0 - 3.6 mmol/l)

Chloride content: max. 100 ppm

Sulphate content: max. 100 ppm

Should the analysis of the water exceed the approved limits, then it has to be suitably treated, for example by mixing with pure, distilled or deionised water. Excessive chloride or sulphate levels can be corrected in this way.

Chemical nature	Ethylene glycol with inhibitors	
Appearance	Clear liquid	
Technical data	Density, 20 °C 1.131 - 1.133 g/cm ³ DIN 51 757-4	
	Refractive index, 20 °C 1.435 - 1.438 DIN 51 423-2	
	Boiling point > 160 °C ASTM D 1120	
	Flash point > 120 °C DIN ISO 2592	
	pH value 6.0 - 7.0 ASTM D 1287	
	Reserve alkalinity M/10 HCl 15 - 19 ml ASTM D 1121	
	Ash content max. 2.0 % ASTM D 1119	
	Water content max. 3.0 % DIN 51 777-1	
Solubility	Miscibility with water	freely miscible
	Hard water stability	stable, no precipitation
Technical data of	Freezing point	ASTM D 1177
Glysantin G 05 -	50 vol% solution	below - 37 °C
Water mixtures		
	pH value	ASTM D 1287
	33.3 vol% solution	7.5 - 8.5



Quality Control

The above-listed data represent average values at the time of going to press of this Technical Information. They are intended as a guide to facilitate handling and cannot be regarded as specified data.

Specified product data are issued as a separate product specification.

Storage Stability

Glysantin G 05 has a shelf life of at least three years when stored in originally closed, air-tight containers at temperatures of maximum 30 °C.

Do not use galvanized containers for storage because they may corrode.

Colour

Glysantin G 05 is available as

- G 05-11 in yellow
- G 05-23 in green

Safety

When using this product, the information and advice given in our **Safety Data Sheet** should be observed. Due attention should also be given to the **precautions** necessary for handling chemicals.