

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ciencias  
Escuela Profesional de Química



INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL PARA  
OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
LICENCIADO EN QUÍMICA

*“CONTROL QUÍMICO DE INCRUSTACIONES DE  
CARBONATOS EN CARBÓN ACTIVADO EN EL PROCESO  
DE RECUPERACIÓN DE ORO MEDIANTE PROCESO CIP  
(CARBON IN PULP) EN LA PLANTA “DOBLE D”  
MINERA COLIBRÍ S.A.C.”*

Presentado por:

**CARLOS HERNAN SANTANA TAPIA**

Asesor:

**Dr. ADOLFO LA ROSA TORO GOMEZ**

LIMA PERÚ

2013

***AGRADECIMIENTOS:***

Agradezco a los docentes de la Escuela profesional de Química - Facultad de Ciencias por haber contribuido en mi formación profesional.

## ÍNDICE

	Pág.
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice .....	iv
Resumen .....	vii
Introducción .....	1
<b>CAPÍTULO I.- OBJETIVO .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>3</b>
2.1 Química del agua .....	3
2.1.1 Generalidades .....	3
2.2 Fuentes de agua en procesos mineros .....	10
2.2.1 Usos del agua en los procesos mineros .....	10
2.2.2 Fuentes de agua .....	11
2.2.3 Clasificación del agua según sales minerales presentes ..	12
2.3 Carbón activado .....	14
2.3.1 Propiedades físicas y químicas del carbón activado .....	14
2.3.2 Fabricación del carbón activado .....	15
2.3.3 Recuperación de oro con carbón activado .....	17
2.3.4 Materias primas .....	17
2.3.5 Aplicaciones industriales .....	19
2.3.6 Factores físicos que afectan la adsorción .....	21
2.3.7 Factores químicos que afectan a la adsorción .....	23
2.4 Efecto de los carbonatos en una planta de carbón .....	25
2.5 Factores que afectan la formación de incrustaciones .....	26
2.5.1 pH .....	26

2.5.2	Temperatura .....	27
2.5.3	Turbulencia .....	28
2.5.4	Caídas de presión .....	29
2.5.5	Aireación .....	29
2.5.6	Mezcla de aguas .....	29
2.6	Equilibrio químico de los carbonatos .....	29
2.7	Antincrustantes .....	32
2.7.1	Consecuencias de las incrustaciones .....	34
2.7.2	Ocurrencia de la cristalización de carbonatos .....	35
2.7.3	Mecanismos para el control de las incrustaciones .....	37
2.7.4	Mecanismo de reacción química .....	38
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN .....</b>		<b>41</b>
3.1	Descripción de las etapas .....	41
3.1.1	Chancado .....	41
3.1.2	Molienda / Clasificación .....	42
3.1.3	Cianuración .....	43
3.1.4	Adsorción .....	43
3.2	Abastecimiento y consumo de agua industrial .....	44
<b>CAPÍTULO IV. PARTE EXPERIMENTAL .....</b>		<b>47</b>
4.1	Análisis preliminar a nivel de laboratorio .....	47
4.2	Procedimiento de pruebas y análisis realizado .....	47
4.2.1	Primera etapa .....	47
4.2.2	Segunda etapa .....	48
4.2.3	Tercera etapa .....	48
4.3	Procedimiento experimental a nivel de planta .....	48
4.4	Costo de anticrustante .....	50
<b>CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>		<b>51</b>
5.1	Resultados a nivel de laboratorio .....	51
5.2	Resultados a nivel de planta .....	52

5.2.1	Carbonatos en líquidos de pulpa .....	52
5.2.2	Gráficos de variación del contenido de carbonatos en el líquido de pulpa .....	55
5.2.3	Resultados de carbonatos en carbón .....	57
5.2.4	Gráficos de variación del contenido de carbonatos En carbón activado en tanques 6 al tanque 12 sin anticrustantes .....	60
5.2.5	Gráficos de variación del contenido de carbonatos En carbón activado en tanques 6 al tanque 12 con el uso de anticrustantes .....	67
5.2.6	Gráficos de comparación con y sin uso de anticrustante ..	72
5.2.7	Plan de manejo ambiental .....	85
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>89</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>90</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>92</b>
Anexo 1:		
	Diagrama de bloques del proceso Carbón en Pulpa .....	93
Anexo 2:		
	Diagrama de flujo esquemáticos de un circuito típico de Carbón en pulpa .....	94
Anexo 3:		
	Anticrustante comercial utilizado – Ficha Técnicas .....	95
Anexo 4:		
	Análisis de carbonatos .....	105
Anexo 5:		
	Análisis de carbonatos en carbón activado .....	110
Anexo 6:		
	Fotografías de los puntos de toma de muestra .....	112

**CONTROL QUÍMICO DE INCRUSTACIONES DE CARBONATOS EN  
CARBÓN ACTIVADO EN EL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE ORO  
MEDIANTE PROCESO CIP (CARBON IN PULP) EN LA  
PLANTA “DOBLE D” – MINERA COLIBRÍ S.A.C.**

**RESUMEN**

A partir del año 2002, en la que Inversiones Mineras Kriete S.A. pasa a ser propiedad de Minera Colibrí S.A.C., se ha producido un continuo crecimiento de la producción de 30 TMSD a 100 TMSD, cantidad que se viene procesando en la actualidad.

El principal problema que se presentó conforme se fue incrementando la producción ha sido la saturación temprana o prematura del carbón activado usado en el proceso. Esta saturación prematura era ocasionado principalmente a consecuencia de la calidad del agua usada en el proceso, en nuestro caso para el procesamiento de mineral, no solo usamos en la planta agua fresca sino también agua reciclada la cual es recirculada al proceso.

El agua fresca usada es agua subterránea (aguas duras) con alto contenido de calcio y magnesio del orden de 400 ppm de dureza total y el agua reciclada (solución barren) presenta una dureza del orden de 1600 ppm, la mezcla en conjunto de estas aguas eran los responsables de la saturación temprana del carbón activado disminuyendo significativamente su capacidad de adsorción trayendo como consecuencia mayor demanda de uso de carbón nuevo del orden de 15 TM/mes incrementándose el costo del tratamiento.

Para controlar la saturación prematura del carbón activado se han realizado pruebas de inhibición al incrustamiento de carbonatos mediante el uso del antincrustante tipo Lupromin L200 (Sokalan AS-5) a nivel de laboratorio, en donde se encontró la dosis óptima que luego fue aplicada a nivel industrial en planta. De esta manera se logró evitar la saturación prematura del carbón activado, disminuyendo la demanda de carbón y permitiendo bajar los costos del procesamiento.

## **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad en la minería de oro es común el procesamiento de minerales que contienen oro en diferentes concentraciones en la matriz mediante la lixiviación en soluciones alcalinas de cianuro. Dependiendo del contenido metálico de los minerales se pueden definir el tipo de proceso a aplicar evaluando la justificación de costos.

El tipo de proceso que emplea Minera Colibrí S.A.C. para la recuperación de oro, es el proceso CIP (Carbon in Pulp); en la que el mineral extraído de la mina pasa por las etapas de chancado, molienda, clasificación en hidrociclones y lixiviación de la pulpa en soluciones alcalinas de cianuro, primero en el circuito de tanques de agitación para luego este oro disuelto que se encuentra en solución es adsorbido en carbón activado adicionado a la pulpa en el circuito de los tanques de adsorción. Luego este carbón ya cargado pasa a la etapa de desorción que consiste en remojo del carbón cargado con una solución fuerte de NaCN y de Hidroxido de Sodio (NaOH), que se produce en reactores en donde la temperatura alcanza 93°C mediante el calentamiento de la solución eluyente en calderos a petróleo.

La solución enriquecida con Au posteriormente se recupera por electrodeposición en una celda electrolítica en el cual se han instalado cátodos de lana de acero para electrodepositar el oro en forma de cemento de Au, Ag, Cu, Hg etc.. El electrodo es posteriormente filtrado en un filtro prensa y finalmente este cemento es fundido en un horno estático para la obtención de bullones de Au como producto final.

## CAPÍTULO I

### **1.1 OBJETIVO**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo aplicar el antincrustante poliacrilato tipo Lupromin L200 (Sokalan AS-5) en el proceso de adsorción para disminuir la incrustación de carbonatos en carbón activado en el proceso de recuperación de oro CIP (Carbon in pulp) y, de esta manera, recuperar el Au con menores cantidades de carbón activado.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1 QUÍMICA DEL AGUA

##### 2.1.1 Generalidades

La dureza química consiste en la presencia de cationes metálicos no alcalinos presentes en el agua (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos). Esta se ha expresado, por lo general, en función del carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$ . Esta es una elección fortuita puesto que la masa molar del  $\text{CaCO}_3$  es 100 y su masa equivalente es 50, proporcionando una unidad conveniente de intercambio para expresar a todos los iones en agua, en vez de mostrar a cada uno de ellos con su propia masa equivalente.

Con fines prácticos, la dureza no es más que el contenido de calcio y magnesio del agua

El problema más común de la mayor parte de las fuentes de agua es la dureza.

La dureza es uno de los términos heredados del pasado y que se origina en el uso casero del agua para lavado. Se encontró que algunas aguas eran duras para utilizarlas al realizar el lavado de la ropa familiar. Se necesitaba más jabón para producir espuma en estas aguas, tanto que en algunas casas tenían barriles o cisterna para recoger el agua de lluvia para el lavado.

Esta relación entre la dureza y la espuma resultó tan fundamental que los químicos han desarrollado una solución estándar de jabón, la cual se utilizó durante muchos años para determinar la dureza del agua. Por lo tanto, la tradición define la dureza como la capacidad de consumo de jabón por el agua.

El agua presenta las siguientes propiedades:

- **Propiedades disolventes.**- En contraste con su conveniente capacidad para enfriar, el agua tiene características que pueden

ser muy perjudiciales. El agua se considera el “disolvente universal” a causa de su tendencia a disolver, en mayor o menor grado una extensa variedad de materiales incluyendo metales, tierra y piedra. La capacidad disolvente del agua es perjudicial para los equipos de los sistemas de enfriamiento, porque al contener especies químicas disueltas pueden tener un efecto directo sobre la cantidad de incrustaciones y corrosión.

Respecto a los sistemas de agua de proceso, la capacidad disolvente del agua puede causar graves problemas. Cuando el agua disuelve diversos minerales, los retiene en solución, estos minerales disueltos se llaman *sólidos disueltos*. Cada gota de lluvia, la forma más pura del agua natural, recoge calcio, magnesio, azufre, hierro, potasio y una variedad de otras sales y gases al caer y penetrar en el suelo. Antes de utilizar el agua para un determinado proceso hay que controlar adecuadamente estas impurezas mediante tratamientos, o eliminarlas del suministro de agua, para evitar problemas como corrosión, incrustaciones y ensuciamiento que pueden perjudicar el rendimiento de los procesos y destrucción de los equipos.

Dependiendo de la situación geográfica, el agua de empleo en los procesos mineros puede contener diversas combinaciones y concentraciones de minerales, gases y materia microbiológica. Como estas impurezas pueden causar graves problemas en un sistema de enfriamiento o adsorción en carbón activado, es importante conocer en todo momento la cantidad y tipo de soluciones presentes.

**Conductividad.-** La conductividad es una medida que indica la facilidad con que circula la corriente eléctrica a través de una muestra de agua.

Los minerales como el cloruro sódico, bicarbonato de calcio, carbonato de magnesio y dióxido de silicio, son sustancias comunes que se disuelven en el agua, formando soluciones

electrolíticas o conductoras. Ya que la conductividad es proporcional a la cantidad de sólidos disueltos en el agua, se puede usar como medida de la cantidad de sólidos disueltos. La conductividad es una medida importante porque indica la concentración de minerales disueltos en el agua, así como su aumento o disminución. Si la concentración de algunos minerales crece demasiado, se pueden formar en poco tiempo depósitos peligrosos que reducen la eficiencia del sistema que trabaja con el agua.

Aunque la conductividad proporciona una buena medida de la cantidad de materiales disueltos en el agua, no indica qué tipos de contaminantes están presentes. Para obtener información acerca de los tipos de impurezas del agua de enfriamiento tenemos que medir otras propiedades químicas del agua.

#### **Dureza.-**

La cantidad de sales (iones de calcio, estroncio, bario y magnesio en forma de carbonatos o bicarbonatos) afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representante una serie de problemas de incrustaciones en equipo industrial y doméstico, además de resultar nociva para el consumo humano.

Entre los muchos minerales que disuelve el agua están los compuestos de calcio y magnesio. La dureza del agua se refiere a la cantidad de calcio y magnesio presentes. Estos compuestos pueden causar dificultades en los procesos de adsorción con carbón activado, porque pueden precipitarse formando depósitos densos y muy duros, particularmente en equipos de intercambio de calor. Es necesario monitorear la dureza cuidadosamente, ya que esos depósitos pueden reducir considerablemente la eficiencia de un proceso. En algunos casos pueden incluso causar la parada total del sistema.

A diferencia de la mayoría de las sales, la solubilidad de las sales de calcio y magnesio varía en relación inversa con la temperatura, por eso son tan importantes.

Una manera de determinar el potencial de formación de depósitos de estas sales en un determinado proceso es conocer la alcalinidad del sistema.

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 de agua. Esta cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con agua y representa una serie de problemas de incrustaciones en equipo industrial y doméstico, además de resultar nociva para el consumo humano.

**Clasificación del agua.-** De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, ésta puede clasificarse en niveles de dureza, que se muestra en la Tabla N° 1.

**Tabla N° 1.-** Índice de dureza del agua

<b>Denominación</b>	<b>ppm de CaCO<sub>3</sub></b>
Muy suave	0 - 15
Suave	16-75
Medios	76-150
Duras	150-300
Muy duras	Mayor a 300

- **Alcalinidad.-**

Definimos alcalinidad como la capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma

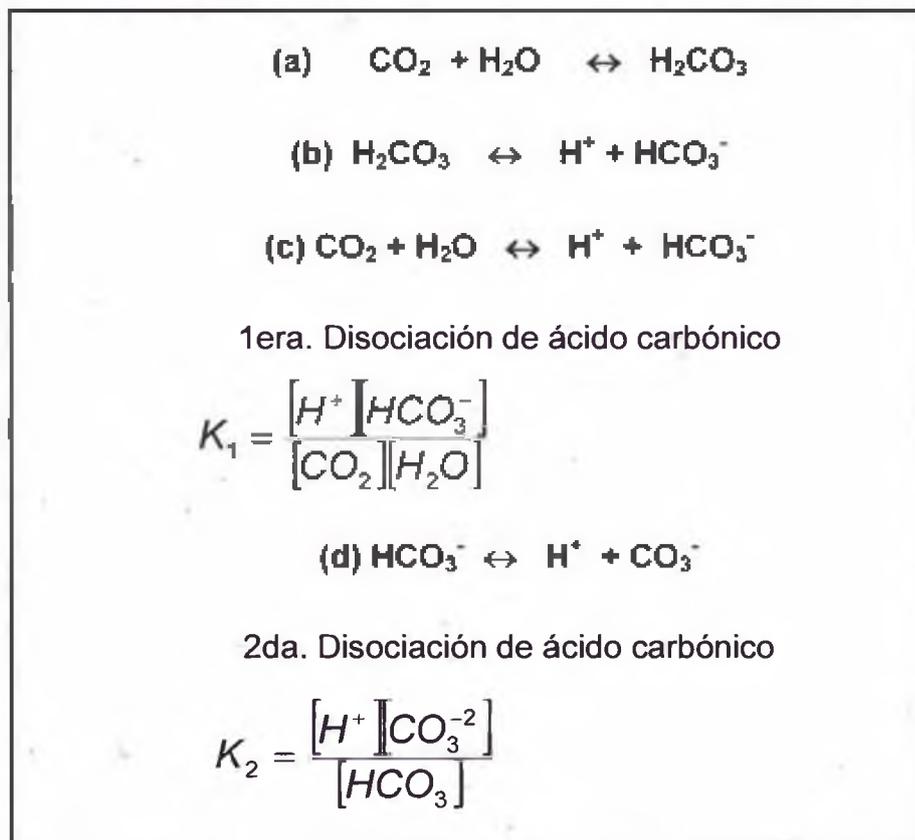
de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, pueden también contribuir a la alcalinidad de estar también presentes. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados o pareados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Dicha especie iónica y el hidróxido son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua.

La alcalinidad, no sólo representa el principal amortiguador del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis. Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, donde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa. Tabla N° 2. Dicha correlación se debe en parte a que la disponibilidad del carbono es mayor en lagos alcalinos y también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos, a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo (en comparación con el granito, otras rocas ígneas y regiones donde el lecho rocoso ha sido desgastado y lavado, los cuales generalmente contienen bajas concentraciones de estos dos nutrientes limitantes y del  $\text{CaCO}_3$ ).

**Tabla N° 2.- Rangos de alcalinidad**

Rango	ALCALINIDAD Mg/L de CaCO <sub>3</sub>
Baja	< 75
Media	75 – 150
Alta	>150

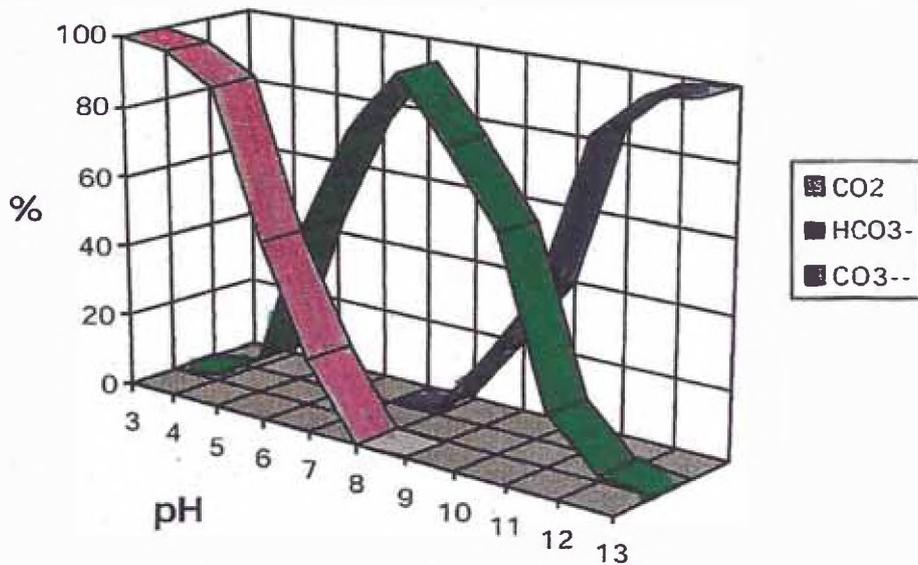
El sistema de alcalinidad tiene interacciones con los procesos de fotosíntesis y respiración celular. Veamos en primer término las reacciones de equilibrio que describen la interacción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Figura N° 1)



**Figura N° 1.** Equilibrio que describen la interacción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Dado que la concentración de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) es generalmente baja, las primeras dos ecuaciones se combinan para formar el equilibrio descrito en la ecuación N° C.

Determinando los valores de las constantes de disociación  $K_1$  y  $K_2$  (las cuales varían con la temperatura y el pH), podemos calcular las concentraciones relativas de los componentes de estas ecuaciones de equilibrio. La Figura N° 2 y la Tabla N° 3 ilustran cómo el porcentaje de composición de dichos componentes varía con el pH.



**Figura N° 2.-** Efecto del pH en el porcentaje de composición de especies de bióxido de carbono en agua.

**Tabla N° 3.** Efecto del pH en las proporciones de especies iónicas de bióxido de carbono en agua.

pH	$\text{CO}_2$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$
4	0.996	0.004	$1.25 \times 10^{-9}$
5	0.962	0.038	$1.20 \times 10^{-7}$
6	0.725	0.275	$9.1 \times 10^{-5}$
7	0.208	0.792	$2.6 \times 10^{-4}$
8	0.025	0.972	$3.2 \times 10^{-3}$
9	0.003	0.966	0.031
10	0	0.757	0.243

Es evidente que las proporciones de las especies iónicas de bióxido de carbono son alteradas significativamente por cambios en pH. A un  $\text{pH} < 6$ ,  $\text{CO}_2$  es la especie dominante. A

valores de pH entre 7 y 9,  $\text{HCO}_3^+$  predomina, mientras que  $\text{CO}_3^{2-}$  comienza a aumentar su concentración significativamente a valores de  $\text{pH} > 9$ .

Cuando se forman incrustaciones o hay corrosión en un intercambiador de calor, a menudo es a causa de la alcalinidad, al menos parcialmente. Hay dos formas de alcalinidad que requieren particular atención en los sistemas de agua en procesos industriales, el cual es atribuido a los bicarbonatos y a los carbonatos.

**pH.-** El pH, igual que la alcalinidad, es una medida clave en las aguas de proceso, debido a que muchos programas de tratamiento de agua están diseñados para funcionar solamente dentro de ciertos intervalos de PH. La definición científica de PH es la siguiente: el logaritmo de la inversa de la concentración de iones hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , (comúnmente llamado ión hidrógeno) en una solución. Sencillamente a medida que la cantidad de iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) presentes en el agua cambia, también cambia el PH. Recuerde que el programa de tratamiento del agua usado para combatir las incrustaciones y la corrosión solamente puede funcionar dentro de un intervalo de PH cuidadosamente prescrito. Si el sistema funciona fuera de ese intervalo, aunque sea durante un periodo muy breve, los aditivos químicos pueden ser ineficaces y pronto comenzarán a surgir problemas. Cuanto más alto sea el PH, más incrustaciones formará el agua. Cuanto más bajo sea el PH, más corrosiva será el agua.

## **2.2 FUENTES DE AGUA EN PROCESOS MINEROS**

### **2.2.1 Usos del agua en los procesos mineros**

El agua empleada en los procesos de mina y procesamiento de minerales está separada en dos partes:

La primera incluiría todos los usos de agua y tratamiento de agua durante la extracción física del mineral de la tierra. La fuente de este tipo de agua puede ser subterránea o superficial (lagos, ríos).

La segunda categorización está definida por el agua empleada en el procesamiento industrial de los minerales en planta. Durante estas operaciones se emplea el agua como medio de transporte y disolución de los minerales de las menas, denominándose a la mezcla mineral – agua slurry, este slurry es llevado a los sistemas de separación mecánica donde mediante el empleo de reactivos químicos específicos se separa el mineral deseado, de los no deseados. La solución final se separa por decantación, siendo el sobrenadante el agua recuperada para el siguiente proceso.

### **2.2.2 Fuentes de agua**

Las fuentes de aguas que se emplean en la industria minera son las aguas subterráneas y las aguas superficiales, cada tipo de agua difiere una de la otra en sus características químicas que hacen su empleo más ó menos viable, es importante considerar la disponibilidad de estas fuentes.

#### **Aguas Subterráneas (Agua de Mina)**

Las aguas subterráneas son las que generalmente se encuentran en los procesos mineros extractivos, este tipo de agua también es denominada Agua de Mina. El agua de este tipo de fuente es rica en minerales por lo cual su tendencia a ocasionar problemas de llegarse a emplear en los procesos mineros, no extractivo de mineral virgen, es alta. Es importante considerar la disponibilidad de fuentes de agua dentro de un proceso minero, ya que si la operación se encuentra en una zona de insuficiente nivel de aguas superficiales, el empleo de agua subterránea será la única alternativa, siempre y cuando se cuente con un tratamiento

adecuado para acondicionar la característica del agua y de esta forma pueda emplearse en el proceso.

Durante la extracción de los minerales en mina es necesario el control obligado del polvo por las cuestiones ambientales y se seguridad del personal, por tal motivo el agua subterránea es muy empleado en estos casos. De igual forma se emplea este tipo de agua para acondicionar la superficie de trabajo donde se realizará la extracción, este es un proceso continuo, por lo cual es necesario retirar constantemente este tipo de agua mediante bombeo y transferirlo a pozas de retención para un posterior tratamiento.

### **Aguas superficiales**

En el sector minero las aguas superficiales son empleadas en los procesamientos de minerales, por contar este tipo de agua con una característica química más benigna que el Agua de Mina. Corresponden a este tipo de agua los manantiales y ríos, en las empresas mineras se cuentan con plantas de tratamiento de aguas recuperadas de proceso y que luego son enviados a grandes pozas de retención y que se juntan con las denominadas aguas de lluvia, siendo una fuente adicional de suministro de agua que se puede considerar como superficial. Esta última denominación es el enfoque actual que las empresas mineras están adoptando, con el objetivo de no dañar recursos naturales de agua, si no recuperar las del proceso y aprovechar al máximo las aguas de lluvia.

#### **2.2.3 Clasificación del agua según las sales minerales presentes.**

Las aguas pueden considerarse según la composición de sales minerales presentes:

**Aguas Duras:** Importante presencia de compuestos de calcio y magnesio, poco solubles, principales responsables de la formación de depósitos e incrustaciones.

**Aguas Blandas:** Su composición principal esta dada por sales minerales de gran solubilidad.

**Aguas Neutras:** Componen su formación una alta concentración de sulfatos y cloruros que no aportan al agua tendencias ácidas o alcalinas, o sea que no alteran sensiblemente el valor del pH.

**Aguas Alcalinas:** Las forman las que tienen importantes cantidades de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio, las que proporcionan al agua reacción alcalina elevando en consecuencia el valor del pH.

Según la composición de las sales minerales presentes se puede determinar la solubilidad en el agua a 20° C (Tabla N° 4).

**Tabla N° 4.** Solubilidades de las principales sales a 20°C

Solubilidades en agua de algunas sales a 20°C , en gramos / litro	
CaCO <sub>3</sub>	0.01
MgCO <sub>3</sub>	0.1
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	2.4
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	71
KNO <sub>3</sub>	150
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	195
MgSO <sub>4</sub>	262
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	262

En donde podemos apreciar que el CaCO<sub>3</sub> y MgCO<sub>3</sub> son los menos solubles.

Según la clasificación señalada, la que mayor atención concita, es la del agua dura. Nos referimos principalmente a la presencia de iones disueltos (partículas sólidas con carga eléctrica neta), en especial iones de calcio [Ca<sup>+2</sup>] y iones de magnesio [Mg<sup>+2</sup>] cuyas cargas netas son positivas (cationes).

La carga positiva de estos cationes sólidos se balancea con la

presencia de aniones (con carga neta negativa), de los cuales los más influyentes son los bicarbonatos  $[\text{HCO}_3^-]$  y los carbonatos  $[\text{CO}_3^{2-}]$ . Estos aniones tienen su origen en el dióxido de carbono  $[\text{CO}_2]$  disuelto naturalmente en el agua.

Los iones con cargas netas opuestas intervienen en un buen número de fenómenos químicos, entre ellos la cristalización (origen de las incrustaciones) y reacciones electroquímicas de oxidación (origen de la corrosión galvánica).

Ambos procesos ocurren de forma espontánea siempre que participen en el sistema compuestos salinos, agua, oxígeno disuelto, un medio ácido, y la superficie metálica propensa a recibir las incrustaciones y a corroerse.

## **2.3 CARBÓN ACTIVADO**

El carbón activado se usó desde principios de 1880 como precipitante del oro en el proceso de clorinación y, posteriormente, en 1917, para la recuperación de oro de soluciones de cianuro en la planta de la mina Yuanni, Australia, donde éstas se bombeaban a través de tres filtros en serie que contenían Carbón de madera. Este carbón tenía la desventaja de poseer una muy baja capacidad de adsorción, además de que se utilizaba un procedimiento inadecuado para realizar el despojo, ya que tenía que quemarse para recuperar los metales preciosos.

En años recientes, han surgido varias técnicas para la recuperación de oro y plata de soluciones de cianuro, tiourea, y tiosulfatos, entre las que se encuentra el uso de carbón activado como adsorbente.

### **2.3.1 Propiedades físicas y químicas del carbón activado.**

Las propiedades físicas y químicas del carbón activado dependen tanto de la materia prima como de las condiciones de activación, es

decir, la temperatura y el tiempo de duración del proceso, lo cual será descrito más adelante en el punto que corresponde a la fabricación del carbón activado. Se ha demostrado que los carbones obtenidos a partir de diferentes materiales tiene su estructura material orgánico original, y por lo tanto también la cantidad y distribución del tamaño de los poros desarrollados dentro de la partícula del mismo, por ejemplo, la estructura del hueso de durazno y de la cáscara de coco, están aún presentes en el esqueleto del carbón final.

Las imperfecciones estructurales en el carbón activado producen numerosos sitios reactivos, de tal manera que las superficies de los poros y de la partícula se componen principalmente de oxígeno, y contienen grupos funcionales localizados preferentemente en los borde de los anillos incompletos de carbón. No se conoce con precisión la naturaleza de estos óxidos superficiales, pero se ha sugerido los siguientes:

- Ácido carboxílico.
- Hidroxilo fenólico.
- Grupos de carbonilo tipo quinona.
- Lactosas normales y de fluoroceina.
- Anhídruos de calcio carboxílico.
- Peróxidos cíclicos.etc

Es importante tener en cuenta que el término carbón activado comprende toda una familia de sustancias. Ninguno de los miembros de esta familia se caracteriza por una fórmula estructural definida, y la única base para su diferenciación es por medio de su capacidad de absorción y de sus propiedades catalíticas.

### **2.3.2 Fabricación del carbón activado**

Para la fabricación del carbón activado se ha utilizado una gran variedad de materiales como madera, hueso, cáscara de coco, plásticos, huesos de durazno, llantas, carbones bituminosos, azúcar y sangre, entre otros. El material producido tiene una gran área

superficial y el tamaño de sus poros puede variar considerablemente. Los poros se clasifican según su tamaño de la manera siguiente:

<u>Tipo de Poros</u>	<u>Diámetro del poro</u>
Macroporos	500 – 20 000 Å°
Mesoporos	100 – 500 Å°
Microporos	8 – 100 Å°

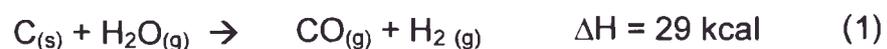
Los poros pueden ser de sección circular o rectangular o tener una gran variedad de formas irregulares.

De acuerdo con McDougall (1986) [15], los macroporos contribuyen poco al área interna total del producto y dependen principalmente de la materia prima utilizada para su fabricación. La principal función de los macroporos es servir como un conducto de transporte para que la parte interna se ponga en contacto con las especies que serán adsorbidas. Los mesoporos contribuyen con un 5% del área interna total, mientras que los microporos con cerca del 95%.

El primer paso empleado en el proceso de la producción del carbón activado es una carbonización por calentamiento a una atmósfera inerte, a una temperatura de 700 °C o menor, para deshidratar el material y remover los compuestos volátiles. Es deseable un contenido de carbón fijo de 80% o más en el producto de esta etapa.

En la siguiente etapa el carbón se activa por calentamiento entre 800 y 1000 °C en presencia de vapor de agua, dióxido de carbono o una mezcla de ambos. Durante la activación, la porción reactiva del esqueleto del carbón se quema como CO y CO<sub>2</sub>, dependiendo del agente utilizado.

Para el proceso de activación, las reacciones del carbón con el vapor y dióxido de carbono son de naturaleza endotérmica.



Mientras que la reacción del carbón con aire es demasiado exotérmica.



### 2.3.3 Recuperación de Oro con carbón activado

Los sistemas de recuperación de metales con carbón activado se han aplicado ampliamente en los últimos veinte años, debido a que tiene la gran ventaja de que no requieren de un tratamiento del licor rico de lixiviación previo a la recuperación, así como a su gran versatilidad. Existen un sin número de alternativas lo que permite múltiples variaciones para las distintas operaciones unitarias incluyendo lixiviación, adsorción, electrodeposición, despojamiento y tratamiento ácido, entre otros.

### 2.3.4 Materias Primas

Cualquier material con un alto contenido de carbón y bajo en especies inorgánicas puede constituirse en materia prima para producir carbón activado. Antiguamente el carbón activado se producía a partir de madera, turba, aserrín y residuos de origen vegetal, como cáscaras de frutas. En la actualidad las tendencias apuntan al uso de diversos tipos de carbón vegetal o hulla que son materiales baratos y fácilmente disponibles. Los carbones para aplicaciones industriales son mayormente preparados a partir de cuescos de coco y otras cáscaras de dura textura, hullas bituminosas, coque, aserrín y otros productos derivados de la madera. Normalmente al usar cuescos de fruta y coque se puede producir carbones duros, con gran resistencia a la abrasión y con una mejor distribución de poros que al usar carbón vegetal. La selección de la materia prima para la producción de carbón dependerá de los recursos disponibles, de la aplicación industrial del carbón y de la eficiencia del producto resultante. La evaluación de este último punto se realiza en base a los siguientes criterios: 1) la posibilidad de

obtener un carbón activado de alta calidad, 2) la presencia mínima de compuestos inorgánicos, 3) el volumen y costo de la materia prima, 4) el tiempo de almacenamiento, y 5) la facilidad de procesamiento de la materia prima.

El bajo contenido de material inorgánico favorece los bajos niveles de ceniza después de la activación del carbón. Adicionalmente, materias primas con alta densidad y gran presencia de material volátil son necesarias para fortalecer la estructura del carbón activado y permitir la formación de poros, respectivamente. Sin embargo, dependiendo de la aplicación estos parámetros pueden ser alterados. Es así que para aplicaciones en fase líquida se desea materia prima de baja densidad y alto contenido de especies volátiles. En la Tabla 5 se resume las características de algunas materias primas y su aplicación industrial.

**Tabla Nº 5. Propiedades de Algunas Materias Primas Usadas para la Producción de Carbón Activado**

Materia prima	Carbón (%)	Volátiles (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Ceniza (%)	Textura del carbón activado	Aplicación del carbón activado
Madera suave	40-45	55-60	0.4-0.5	0.3-1.1	Suave, gran volumen de poro	Adsorción en fase acuosa
Madera dura	40 -42	55 - 60	0.55 - 0.80	0.3 - 1.2	Suave, gran volumen de poro	Adsorción en fase acuosa
Lignina	35 -40	58- 60	0.3 - 0.4	—	Suave, gran volumen de poro	Adsorción en fase acuosa
Cáscaras de nuez	40 -45	55-60	1.4	0.5 -- 0.6	Duro, gran volumen de microporo	Adsorción en fase de vapor
Lignito	55 -70	25-40	1.00 - 1.35	5- 6	Duro, reducido volumen de poro	Tratamiento de aguas residuales
Carbón suave	65-80	20-30	1.25 - 1.50	2-12	Medianamente duro, volumen de microporo mediano	Adsorción en fase líquida y gaseosa
Coque	70 -85	15-20	1.35	0.5 -- 0.7	Medianamente duro, volumen de poro mediano	Tratamiento de aguas residuales
Carbón semiduro	70-75	10- 15	1.45	5- 15	Duro, gran volumen de poro	Adsorción en fase gaseosa
Carbón duro	85-95	5- 10	1.5 - 1.8	2- 15	Duro, gran volumen de poro	Adsorción en fase gaseosa

### 2.3.5 Aplicaciones Industriales

La singular capacidad adsorbente y versatilidad del carbón activado han logrado que este material sea de gran utilidad en diversas ramas industriales. La extensa área superficial hace del carbón un excelente adsorbente y por ende es usado para purificar, decolorizar, desodorizar, desclorinizar, desintoxicar, filtrar, separar, concentrar y catalizar reacciones químicas. De todos los mencionados usos, cerca del 80% del carbón producido se utiliza en aplicaciones en fase líquida, donde la mayor parte del carbón se emplea en el tratamiento de agua potable, residual y subterránea, la remoción de contaminantes orgánicos y la recuperación de solventes. El restante 20% corresponde a las aplicaciones en fase gaseosa, las cuales incluyen la purificación del aire, la recuperación de oro y la producción de filtros de cigarrillo. Con el pasar de los años el uso del carbón activado en procesos industriales ha influenciado en varios sectores económicos tales como la industria alimenticia, farmacéutica, química, petrolera, hidrometalúrgica, nuclear, automovilística y hasta el sector agrícola. Los usos específicos del carbón activado se resumen en la Tabla 6.

**Tabla Nº 6.** Aplicaciones Industriales del Carbón Activado

<b>Aplicaciones</b>	<b>Descripción</b>
Tratamiento de agua potable	Remoción de contaminantes orgánicos, control de olores y potable clarificación
Industria alimenticia	Decolorización del vinagre, remoción de etileno de las plantas de almacenamiento de frutas
Sector agrícola	Fertilizante de suelos, componente de transplante y remoción de residuos pesticidas
Producción de bebidas	Remoción de grasas, sabores indeseables, aldehídos y fenoles del brandy y la cerveza
Industria hidrometalúrgica	Recuperación de oro por procesos de carbón en pulpa (CIP), en lecho (CIL) y en columna (CIC).
Industria petroquímica	Clarificación del crudo, remoción de contaminantes hidrocarbúricos, reciclaje de condensado de vapor para alimentar calderos
Descontaminación de aguas subterráneas	Remoción de halógenos orgánicos, totales (TOX), entre ellos aguas subterráneas cloroformo, tetracloroetileno y

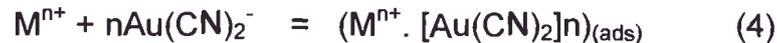
	tricloroetano.
Tratamiento de aguas residuales Industriales	Reducción de halógenos totales (TOX), de la demanda biológica residuales industriales (BOD) y química (COD) de oxígeno.
Plantas de energía nuclear	Prevención de la liberación de vapores radioactivos como yodo, metil yodato y gases nobles como kriptón y xenón
Industria química	Recuperación de solventes orgánicos para reciclaje, control de emisiones de vapor, soporte para catalizar reacciones
Medicina	Remoción de toxinas bacterianas, tratamiento de gastritis y como antídoto para envenenamiento con hongos, alcaloides, fósforo y fenoles.
Respiradores industriales	Remoción de vapores tóxicos
Disposición de basura	Eliminación de metales pesados y dioxinas de los gases provenientes de la incineración de desperdicios domésticos, químicos y clínicos.
Cigarrillos	Retención de elementos perjudiciales del humo del cigarrillo, tales como la nicotina.
Aire acondicionado	Remoción de olores de combustibles quemados por aviones y automóviles en aeropuertos y oficinas.
Desodorizantes	Remoción de olores de alimentos en refrigeradores

### 2.3.5.1 Adsorción

El mecanismo de adsorción en carbón de metales preciosos a partir de soluciones de cianuro, no se han establecido totalmente, sin embargo, para el caso del oro se reconocen las siguientes características principales:

- La extracción se mejora en presencia de electrolitos como  $\text{CaCl}_2$  y  $\text{KCl}$ .
- La adsorción de oro aumenta con el PH (ácido o básico) de la solución.
- Los complejos neutros de cianuro como  $\text{Hg}(\text{CN})_2^-$  se adsorben fuertemente independientemente de la fuerza iónica de la solución.
- La adsorción es un proceso reversible, con una tasa de despojamiento mal alta para condiciones ligeramente diferentes.
- Existen evidencias de que la adsorción depende del potencial de reducción del sistema.
- Para la mayoría de las condiciones, la relación molar de oro cargado a nitrógeno es de 0,5; lo que es consistente con la presencia del complejo  $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ .

- La adsorción disminuye conforme la temperatura aumenta.
- El mecanismo de adsorción puede representarse por la ecuación:



La evidente cinética indica además que la velocidad inicial de adsorción del complejo de cianuro de metales preciosos es rápida, y disminuye conforme se aproxime al equilibrio. En estas condiciones, la tasa de adsorción está controlada por el transporte de masa del complejo hacia la superficie del carbón. Una vez alcanzado el equilibrio, la difusión del complejo a través de los microporos del carbón se convierte en un proceso más lento que la difusión a través de la capa límite, debido a la longitud y tortuosidad de los poros. La energía de activación para la adsorción de oro, por ejemplo, es del orden de 11 kJ/mol, lo que indica un control por transporte de masa. La velocidad de adsorción de oro en carbón puede describirse por medio de una ecuación de velocidad de primer orden:

$$\text{Log } C_t = \text{Log } C_0 + kt \quad (5)$$

Donde  $C_t$  es la concentración de oro en cualquier tiempo  $t$ ,  $C_0$  la concentración inicial de oro y  $k$  es una constante de velocidad.

La adsorción de cianuros de metales preciosos en carbón depende de una serie de factores químicos y físicos que afectan tanto la cinética de adsorción como la capacidad de carga al equilibrio. A continuación se señalan los efectos más sobresalientes.

### 2.3.6 Factores físicos que afectan a la adsorción.

**Tipo de carbón.-** En general los carbones de mayor actividad son los más blandos debido a que poseen una estructura más porosa. Esto reduce su resistencia mecánica y ocasiona una mayor pérdida de carbón, y en consecuencia de valores metálicos en operación debido a la fractura del material de adsorción. El tipo de carbón que se requiere para un proceso en particular depende de varios factores como: tipo de proceso de adsorción (Carbón en pulpa CIP, Carbón en lixiviación CIL o

Carbón en columna CIC), concentración de metales preciosos, velocidad de flujo de pulpa/solución, velocidad de producción de metales preciosos, velocidad de atricción del carbón y condiciones del proceso.

La actividad de los carbones utilizados en la industria extractiva de metales preciosos disminuye con el uso, por lo que es necesario emplear alguna técnica de reactivación para minimizar la amplitud de esta degradación.

**Tamaño de partícula del carbón.-** Tiene un efecto considerable en la longitud media del poro dentro de las partículas de carbón, y la velocidad de adsorción aumenta al disminuir el tamaño de partícula. Esto tiene una importancia fundamental al disminuir el tamaño de partícula. Esto tiene una importancia fundamental para las operaciones industriales, ya que éstas normalmente operan con capacidades de carga de oro muy por debajo de la capacidad de carga del carbón al equilibrio.

Los rangos de tamaño en aplicaciones industriales varían entre 1,2 x 2,4 mm (14 x 8 mallas) y 1,7 x 3,4 mm (10 x 6 mallas).

Otros factores que influyen en el tamaño de partícula seleccionado son:

- Entre más fino sea el carbón más difícil es su tamizado, especialmente cuando se trabaja con el proceso de carbón en pulpa.
- El carbón más fino es más susceptible de perderse por atricción debido a su muy alta relación de área superficial a masa, y por lo general se reduce a un tamaño tal que puede salir del circuito mucho más rápido que el carbón más grueso.

- El carbón más pequeño tiene una velocidad de fluidización menor que el carbón más grueso, lo que afecta el diseño del equipo.

**Eficiencia de mezclado.-** Para lograrla se requiere que:

- Mantenga al carbón, solución y sólidos suspendidos y a la mezcla tan homogéneos como sea posible.
- Maximice la velocidad de transporte de masa de las especies de cianuro de oro a la superficie del carbón, de preferencia más rápido que la velocidad de adsorción.

**Densidad de pulpa (masa por unidad de volumen en una mezcla mineral / agua (slurry).-** La disminución de la velocidad de adsorción de metales preciosos en carbón al aumentar la densidad de pulpa, se atribuye a los siguientes factores.

- Disminución en la eficiencia de mezclado debido a un aumento de la viscosidad de la pulpa y a una disminución de la energía suministrada por unidad de masa de suspensión.
- Taponamiento de los poros debido a partículas de mineral muy finas.

También existe un efecto negativo cuando se procesan menas arcillosas que ocasionan un cambio en la viscosidad de la suspensión, con las consecuencias ya mencionadas.

### **2.3.7 Factores químicos que afectan a la adsorción.**

**Temperatura.-** La adsorción de metales preciosos en carbón es un proceso exotérmico, lo que explica su reversibilidad al aumentarse la temperatura. Por lo tanto, la capacidad de carga disminuye al aumentar la temperatura. La velocidad de adsorción aumenta un poco con la temperatura debido a un

incremento en la velocidad de difusión de los complejos de metales preciosos.

**Concentración de metales preciosos en solución.-** La velocidad de adsorción de oro y su capacidad de adsorción de operación en equilibrio aumentan al incrementarse la concentración de oro en solución. En la práctica se logran velocidades de carga de 10 a 100 g Au/h/t de carbón, y capacidades de carga de 5 a 10 kg Au/t de carbón.

**Concentración de cianuro.-** Al aumentar la concentración de cianuro disminuyen tanto la velocidad de adsorción como la capacidad de carga del oro, lo que se atribuye a una mayor competencia de la especie cianuro libre por los sitios de adsorción. Sin embargo, la selectividad del carbón por oro a otras especies de cianuro metálicos aumenta con la concentración de cianuro.

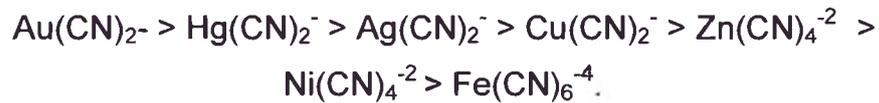
**pH.-** Una combinación del pH aumenta la velocidad de adsorción y la capacidad de carga, sin embargo, en la práctica, dentro del rango de operación, es mínimo el efecto debido a la variación de pH.

**Fuerza iónica.-** La velocidad de adsorción y la capacidad de carga aumentan con la fuerza iónica.

**Oxígeno disuelto.-** La oxidación catalítica de cianuro en presencia de oxígeno, trae como consecuencia una mejoría en la adsorción debido a la disminución de la concentración de cianuro libre.

**Envenenamiento del carbón.-** Se debe a la adsorción o atrapado físico de otras especies en solución y constituyentes del mineral, que pueden tener un efecto adverso severo en la eficiencia de adsorción de los metales preciosos. Las especies inorgánicas y orgánicas pueden afectar el carbón activado, dentro de las especies más perjudiciales se encuentra el  $\text{CaCO}_3$ .

- **Adsorción de otros metales.**- Afortunadamente, el carbón es muy selectivo con respecto a oro y plata, por lo que el efecto de adsorción de otras especies dañinas es mínimo con excepción del mercurio, el orden de preferencia de adsorción es como sigue:



**Plata.**- El mecanismo de adsorción de la plata en carbón es similar al del oro; sin embargo, la capacidad de adsorción del carbón para plata es mucho menor. Además, el complejo de cianuro de oro tiende a desplazar al de plata del carbón. Estos factores son importantes en el diseño y operación de una planta.

**Mercurio.**- El complejo de cianuro de mercurio  $\text{Hg(CN)}_2$  compite directamente con el del oro  $\text{Au(CN)}_2$  por sitios en el carbón y puede, en algunos casos, desplazarlo. En aquellos casos donde se tengan cantidades significativas de mercurio en el mineral, se requiere un tratamiento para su eliminación.

**Cobre.**- La adsorción de cobre está relacionado con el pH y la concentración de cianuro libre. Para bajas concentraciones y bajo pH se favorece la formación del complejo  $\text{Cu(CN)}_2^-$ , que se adsorbe fácilmente, mientras que para altas concentraciones y alto pH predomina el complejo  $\text{Cu(CN)}_4^{2-}$ , que se adsorbe pobremente. Para el tratamiento de un material con un alto contenido de cobre, se requiere un control cuidadoso del pH y de la concentración de cianuro libre, para evitar el efecto negativo en la adsorción de metales preciosos.

## 2.4 Efectos de los carbonatos en una planta de carbón.

En todos los sectores de producción industrial se utiliza agua, pero ninguno de ellos está exento de los efectos de sus componentes sean naturales o a consecuencia de su uso. En el caso de la lixiviación del

oro, la calidad de agua es indispensable para los óptimos resultados del proceso, las aguas subterráneas son por lo general aguas duras que presentan en su composición altos contenidos de iones  $\text{Ca}^{+2}$  y en menor proporción los iones  $\text{Mg}^{+2}$ , la cantidad de estos iones son muchos mayores en el agua que se recicla al proceso (solución barren).

Estos iones van a reaccionar con el  $\text{CO}_3^{-2}$  para formar  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{MgCO}_3$ . En la planta donde se usa carbón activado, el  $\text{CaCO}_3$  es el que va originar incrustaciones y taponamiento del carbón activado.

Los iones carbonatos pueden ser formados por la oxidación de cianuro en la superficie del carbón, según las siguientes reacciones:



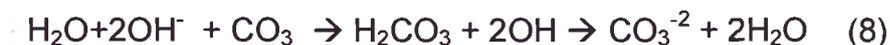
## 2.5 Factores que afectan la formación de incrustaciones.

Los factores que afectan a la formación de incrustaciones se citan a continuación:

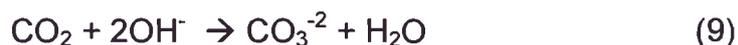
### 2.5.1 pH

Los altos valores de pH favorecen el incremento de los niveles de dióxido de carbono, disminuyen la solubilidad del carbonato de calcio, y fuerzan el equilibrio hacia la formación de los iones carbonato.

La disolución de  $\text{CO}_2$  en aguas de alto pH esta dado por la siguiente Reacción química:

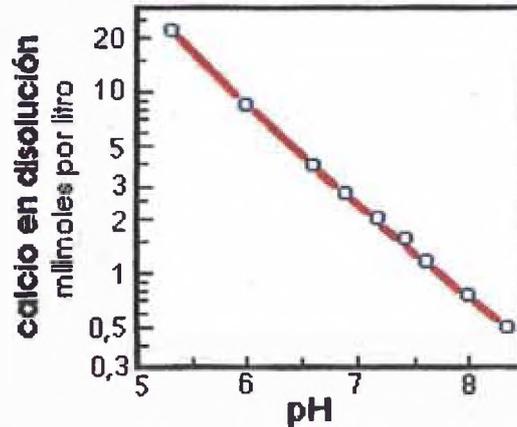


Reacción Neta:



Los cambios en el pH afectarán al sistema ya que al aumentar el contenido de  $\text{CO}_2$  en agua también aumentará proporcionalmente la acidez y la disolución de los carbonatos tendrá lugar(Figura N°3).

Lo contrario ocurrirá si aumenta la alcalinidad.



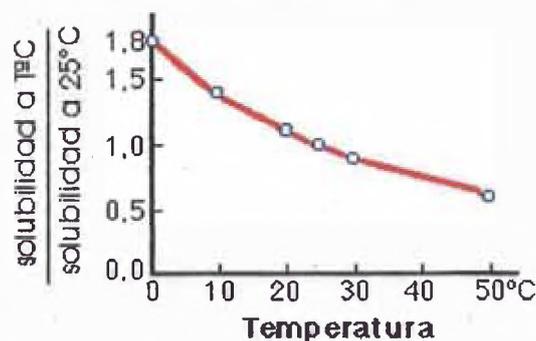
**Figura Nº 3.- Solubilidad de Carbonatos vs PH**  
 Aumento del pH → precipitación de los carbonatos.  
 Disminución del pH → disolución de los carbonatos.

### 2.5.2 Temperatura

Altas temperaturas originan la precipitación del carbonato de calcio y consecuentemente la formación de incrustaciones. Esto debido a la relación inversa que existe entre la temperatura/solubilidad.

La temperatura afecta al equilibrio ya que el  $\text{CaCO}_3$  es menos soluble en agua caliente que en agua fría.

La solubilidad de los carbonatos decrece cuando aumenta la temperatura (Figura Nº4), por eso la movilidad de los carbonatos será mayor en climas fríos que en climas cálidos.



**Figura Nº 4.- Solubilidad de Carbonatos vs Temperatura.**

Disminución de la temperatura → disolución de los carbonatos.

Aumento de la temperatura → precipitación de los carbonatos.

La solubilidad de muchas de los minerales incrustantes comunes es inversamente proporcional a la temperatura, lo que significa que la solubilidad de estas especies disminuye al aumentar la temperatura (Tabla N° 7).

Esto es particularmente cierto en el caso del carbonato cálcico y fosfato cálcico que se forman más velozmente en aquellos puntos en que la temperatura de la superficie es máxima. Así pues, las altas temperaturas de la superficie pueden provocar la formación de incrustaciones localizadas de las superficies del intercambiador de calor, reduciendo en consecuencia por proceso de transferencia de calor.

**Tabla N° 7.- Solubilidad de Sales a diferentes temperaturas**

COMPUESTO	ppm en forma de CaCO <sub>3</sub>	
	0 °C(32 °F)	100 °C(212 °F)
<b>CALCIO</b>		
Bicarbonato	1620	Se descompone
Carbonato	15	13
Sulfato	1290	1250
<b>MAGNESIO</b>		
Bicarbonato	37100	Se descompone
Carbonato	101	75
Sulfato	170000	356000
<b>SODIO</b>		
Bicarbonato	38700	Se descompone
Carbonato	61400	250000
Cloruro	225000	243000
Hidróxido	370000	970000
Sulfato	336000	210000

### 2.5.3 Turbulencia

Áreas de alta turbulencia causan nucleación, crecimiento acelerado de cristales y posterior formación de incrustaciones.

#### **2.5.4 Caídas de Presión**

Una rápida caída de presión desestabiliza al sistema acuoso, causando un proceso de nucleación, crecimiento de cristales y posterior incrustación.

#### **2.5.5 Aireación**

La aireación de sistemas acuosos incrementa el potencial de la formación de incrustaciones, debido al incremento del dióxido de carbono y subsecuentemente formación de carbonato.

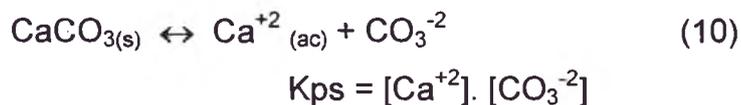
#### **2.5.6 Mezcla de Aguas**

Mezclas de aguas pueden proporcionar un adicional de calcio o carbonato en el medio u otras especies cuyo resultado puede ocasionar una condición de inestabilidad en agua y consecuentemente formación de incrustaciones.

### **2.6 Equilibrio químico de los carbonatos.**

Las sales poco solubles de carbonatos saturan el agua. La forma cristalina del carbonato de calcio se presenta en la forma de calcita (estructura hexagonal) y aragonita (estructura ortorrómbica). La calcita es la más estable y por lo tanto la menos soluble.

Si consideramos que el equilibrio se alcanza únicamente con los iones provenientes del carbonato de calcio que se logra disolver tendremos las siguientes consideraciones:



**Tabla N° 8.- Constantes de producto de solubilidad (KPS) de la Calcita y Aragonita.(a 25 °C)**

$K_{PS} (Ca_{(calcita)}) = 4.5 \times 10^{-9}$	La solubilidad de la calcita es 6.71 mg de Calcita por litro de solución.
$K_{PS} (II Aragonita) = 6.0 \times 10^{-9}$	La solubilidad de la Aragonita es 7.75 mg de Aragonita por litro de solución.

Donde:

$K_{PS}$ : Constante de Solubilidad

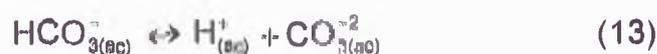
Para la determinación de la constante de equilibrio se cita las siguientes reacciones químicas con sus respectivas constantes de equilibrio (a 25 °C):



$$K_{CO_2} = 3.4 \times 10^{-2}$$



$$K_1 = 4.4 \times 10^{-7}$$



$$K_2 = 4.7 \times 10^{-11}$$



$$K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

De las ecuaciones: (10), (11), (12), (13), (14), tendremos en el equilibrio químico la siguiente reacción:



$$K_{EQ} = \frac{K_{CO_2} \times K_1 \times K_2}{K_{PS} \times K_w^2}$$

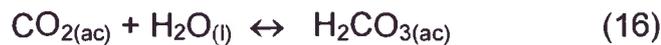
Donde:

$K_{EQ}$ : Constante de equilibrio.

$$K_{EQ(\text{Calcita})} = 1.56 \times 10^{18}$$

$$K_{EQ(\text{Aragonita})} = 1.17 \times 10^{18}$$

Uno de los factores importantes para el control de la solubilidad del carbonato de calcio esta dado por la concentración de iones hidrogeno (pH), el cual es controlado por la presión parcial del bióxido de carbono de acuerdo a las siguientes reacciones:



De las ecuaciones: (16), (17), (18), tenemos la siguiente reacción:



De la ecuación (19), se muestra que el bióxido de carbono es el responsable de la disolución en agua de la Calcita y  $\square$  Aragonita o de prevenir su formación.

La disolución del dióxido de carbono en agua, con formación de ácido carbónico (16), tiene un efecto directo sobre la solubilidad y mantenimiento en disolución del bicarbonato cálcico.

El dióxido de carbono se hidrata, dando lugar al ácido carbónico que, a su vez, se disocia dando lugar a la formación de iones bicarbonato según las ecuaciones (16) y (17).

La suma del dióxido de carbono disuelto ( $\text{CO}_2$ ) mas el ácido carbónico no disociado ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) se denomina ácido carbónico libre.

A fin de que en el agua se mantengan los bicarbonatos en disolución y no se precipiten provocando la incrustación, es necesaria la

presencia de ácido carbónico no disociado, que desplace hacia la derecha a la reacción de equilibrio (19).

Al ácido carbónico no disociado necesario para mantener en disolución a los bicarbonatos y evitar su precipitación, se le denomina ácido carbónico equilibrante.

De acuerdo con este equilibrio, las aguas serán inertes cuando están en equilibrio, incrustantes cuando el contenido de ácido carbónico equilibrante es inferior al de las condiciones de equilibrio determinadas por el pH y la temperatura, y agresivas, cuando el ácido carbónico libre está por encima del equilibrio para mantener las condiciones de solubilidad de los bicarbonatos.

## 2.7 ANTINCRUSTANTES.

Los antincrustantes son sustancias que permiten prevenir tanto la formación de incrustaciones como su depósito, de tal manera que puedan ser fácilmente eliminadas por el fluido que circula por la tubería o por la superficie del transmisor de calor. Uno de los inhibidores más comunes de las incrustaciones es el polianión, poliacrilato(PAC), (Figura 5).

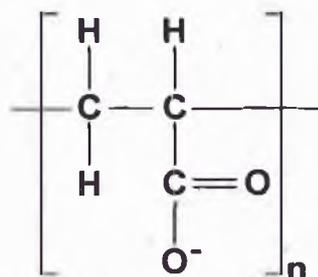


Figura N° 5. Poliacrilato

A los polímeros cargados positiva o negativamente se les llama polielectrolitos, macroiones o poliiones. Los polielectrolitos pueden

ser polianiones o policationes, y generalmente son solubles en agua si su estructura es lineal. El agua interactúa fuertemente con los polianiones (Figura N° 6) como el PAC, mediante un enlace de hidrógeno con los grupos aniónicos (como el oxígeno carboxilato del PAC), ayudando a la disolución del polímero.

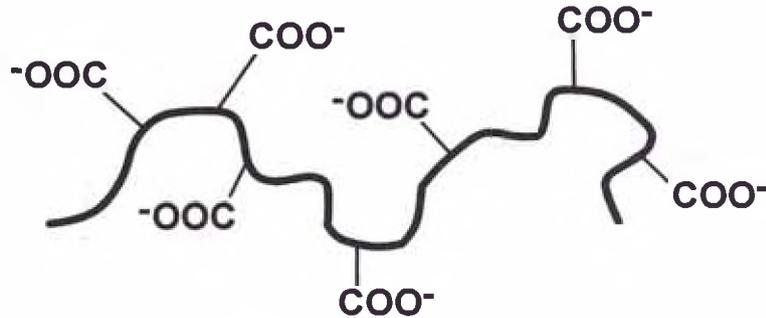


Figura N° 6. Polianión

### Poliacrilato (PAC)

La síntesis del PAC comienza con la polimerización del radical libre del ácido acrílico para producir el ácido poliacrílico. Éste puede ser convertido en un polianión, mediante la reacción con una base como el hidróxido sódico.

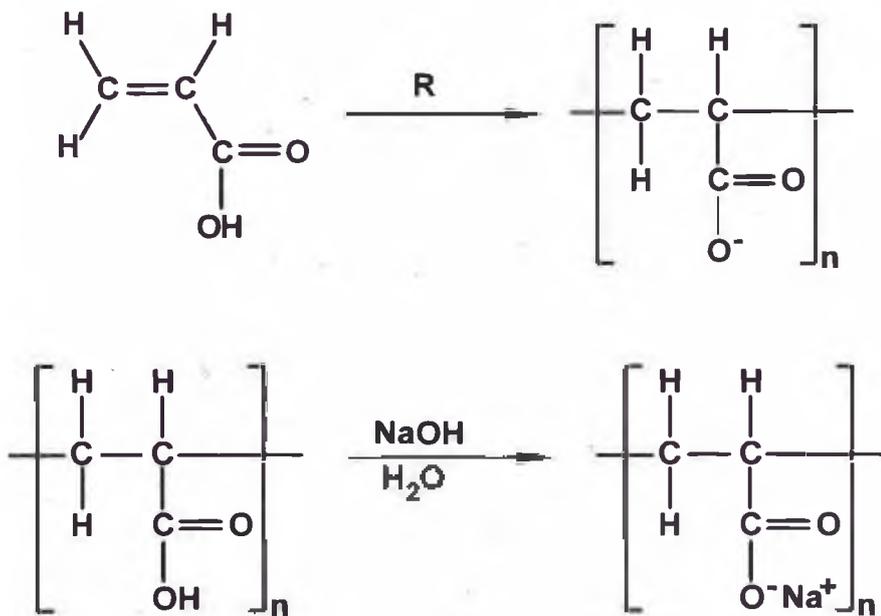
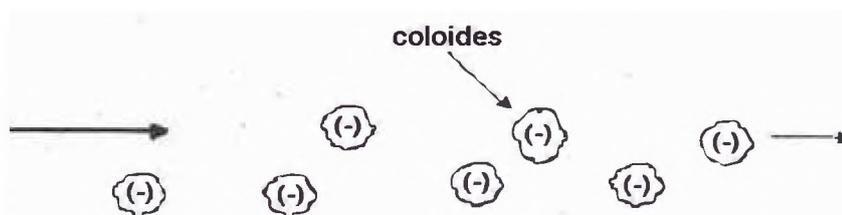
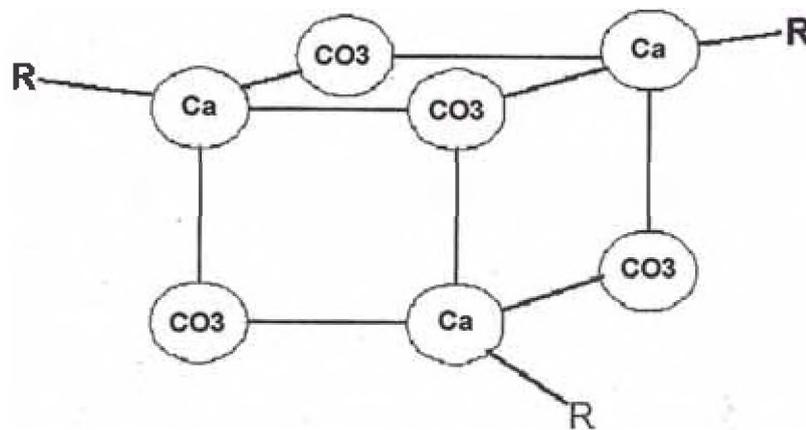


Figura N° 7. Síntesis del ácido poliacrílico y su conversión a poliacrilato

El PAC puede actuar como antincrustante y como dispersante. Generalmente, los antincrustantes poliméricos son polímeros de bajo peso molecular, mientras que los dispersantes poliméricos consisten en fracciones de alto peso molecular. Los dispersantes no detienen la formación de incrustaciones pero son capaces de mantener las partículas en suspensión dentro de la masa del fluido comunicando una carga negativa a las mismas. Estas cargas negativas se repelen unas a otras previniendo la formación de agregados mayores (y precipitación) de partículas de incrustantes(Figura N° 8). El PAC constituye un 5% de la mayoría de los detergentes de las lavanderías debido a sus propiedades dispersantes.



**Figura N° 8.** Esquema de dispersión

### 2.7.1 Consecuencia de las incrustaciones

- **Baja en la producción**

Reducción de flujos debido al incrustamiento de bombas, líneas, intercambiadores de calor.

- **Costos por parada de proceso**

Las líneas que han sido bloqueadas o parcialmente bloqueadas deben ser objeto de paradas no previstas, que

estará supeditada al tiempo que demande limpiar o reemplazar líneas.

- **Reducción en la recuperación del Oro**

Ensuciamiento del carbón activado afectan la eficiencia de adsorción del oro. Se puede ver el efecto de los carbonatos a medida que van incrementando y ensuciando el carbón activado la eficiencia de adsorción va disminuyendo, en el 50% de su eficiencia.

- **Daño de equipos**

En una planta de carbón básicamente pueden dañar las partes de una bomba y encalichamiento de tuberías.

- **Altos costos de mantenimiento**

Reemplazo, reparación y limpieza de tuberías, bombas, etc.

Mas regeneración del carbón.

### **2.7.2 Ocurrencia de la Cristalización de Carbonatos.**

La cristalización ocurre bajo condiciones muy comunes en muchos campos de aplicación:

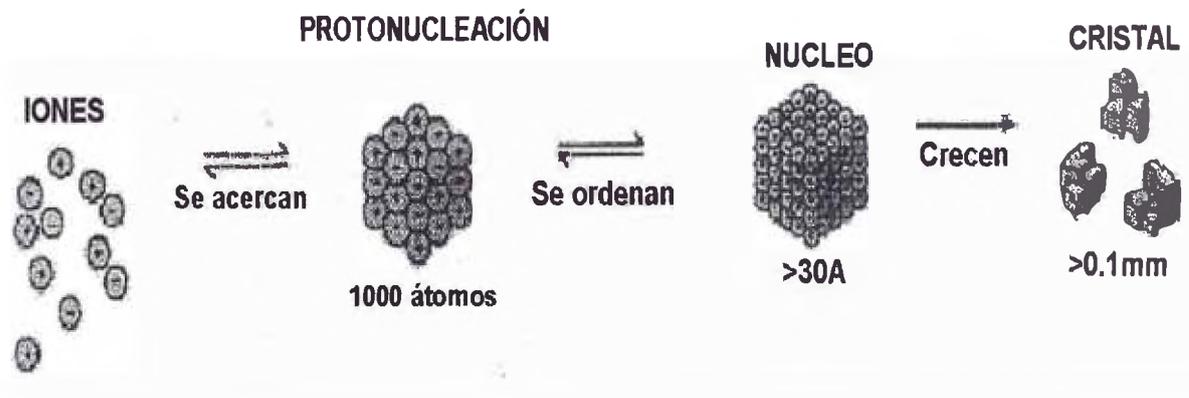
- Sobresaturación de iones sólidos en solución (mayor cantidad de lo que la solución admite en estado de equilibrio).
- Nucleación inicial de cristales debido a la combinación de iones de la solución con iones no pertenecientes a la fase líquida.
- Crecimiento de cristales por propio enlace iónico con otras sales precipitadas.
- Otros factores como incrementos bruscos de temperatura, turbulencia en el sistema, naturaleza y estado de la superficie en contacto con la solución y presencia de otras impurezas.

La cristalización de iones en solución(Figura N° 9), 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.

En el caso de las plantas de carbón la presencia de los carbonatos en la solución cianurada es debido al uso de aguas duras por lo cual la predominancia del carbonato de calcio es la más resaltada en este proceso.

Las incrustaciones en la planta de carbón se deben básicamente a los cambios de PH y temperatura debidos básicamente a las etapas de lavado ácido y de desorción en donde se presentan estos aspectos.



**Figura N° 9.** Esquema de crecimiento de cristales

### 2.7.3 Mecanismos para el control de las incrustaciones.

- **Efecto Umbral**

Consiste en retardar la formación de la sal incrustante, por los centros activos del cristal. La estabilización ocurre cuando las moléculas del químico se adsorben sobre los finos núcleos del cristal.

- **Modificación de Cristales**

El proceso de estabilización ocurre cuando las moléculas del antincrustante se adsorben sobre la estructura cristalina. Es decir la estructura cristalina de los carbonatos es alterada y evita a que sigan precipitando.

- **Dispersión**

A través de una repulsión de cargas resultante se evita la aglomeración de los sólidos suspendidos sobre las superficies. Los depósitos son mantenidos libremente a través del sistema, para ser evacuados mediante purga.

Los dispersantes aniónicas logran esto por adsorción en los cristales en crecimiento, incrementando la carga aniónica de los cristales en crecimiento y la fuerza de repulsión electrostática entre estos cristales.

Los antincrustantes ocupan los sitios positivos del cristal en crecimiento encontrado en las esquinas interrumpiendo el mecanismo de formación de incrustación (Figura N° 10)

- **Acomplejamiento**

El acomplejamiento involucra la formación de complejos químicos soluble. Una molécula del quelante se combina con una molécula de la especie formadora de incrustaciones. El EDTA es muy buen acomplejante

## Carbonato de Calcio



Figura N° 10. Esquema de dispersión de cristales.

### 2.7.4 Mecanismo de Reacción Química

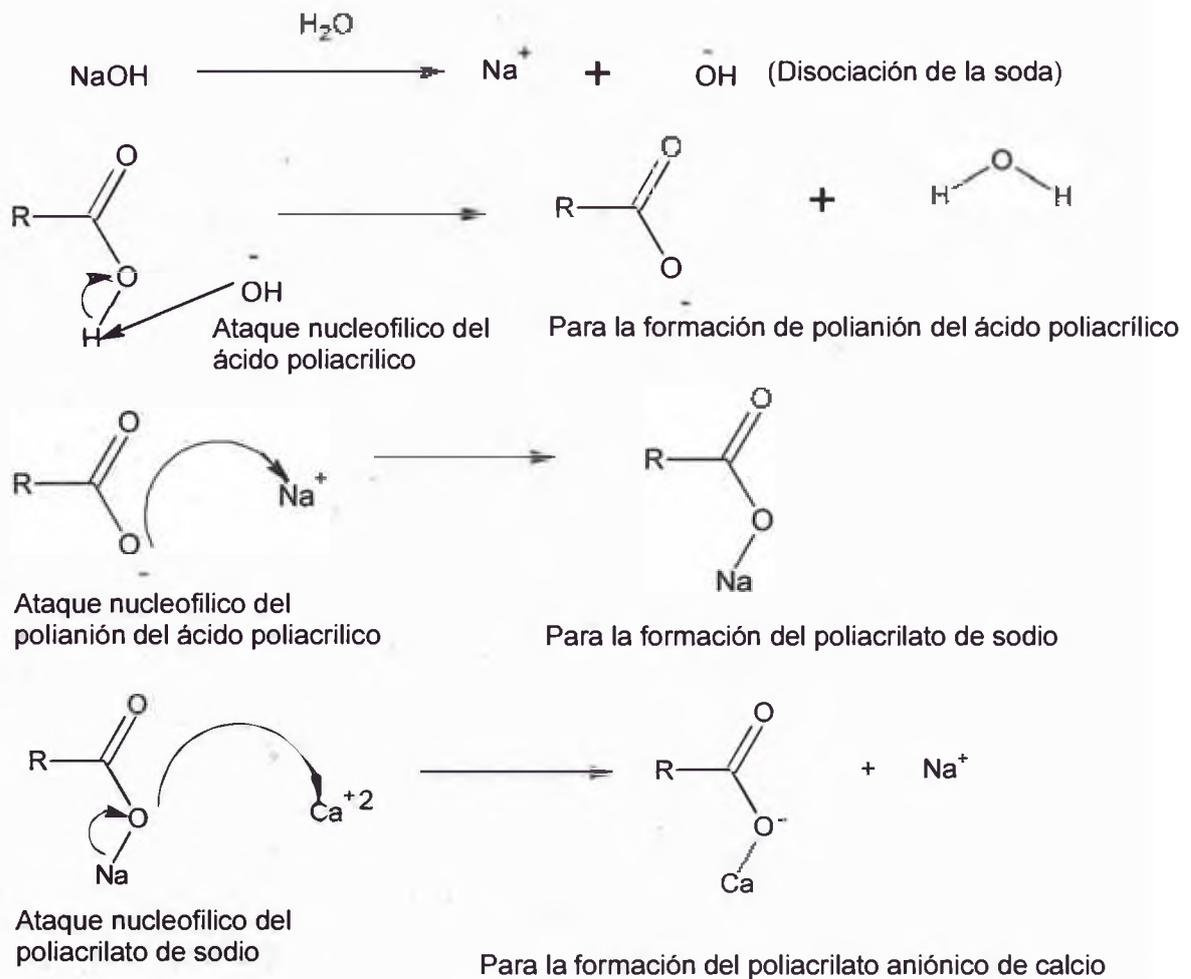
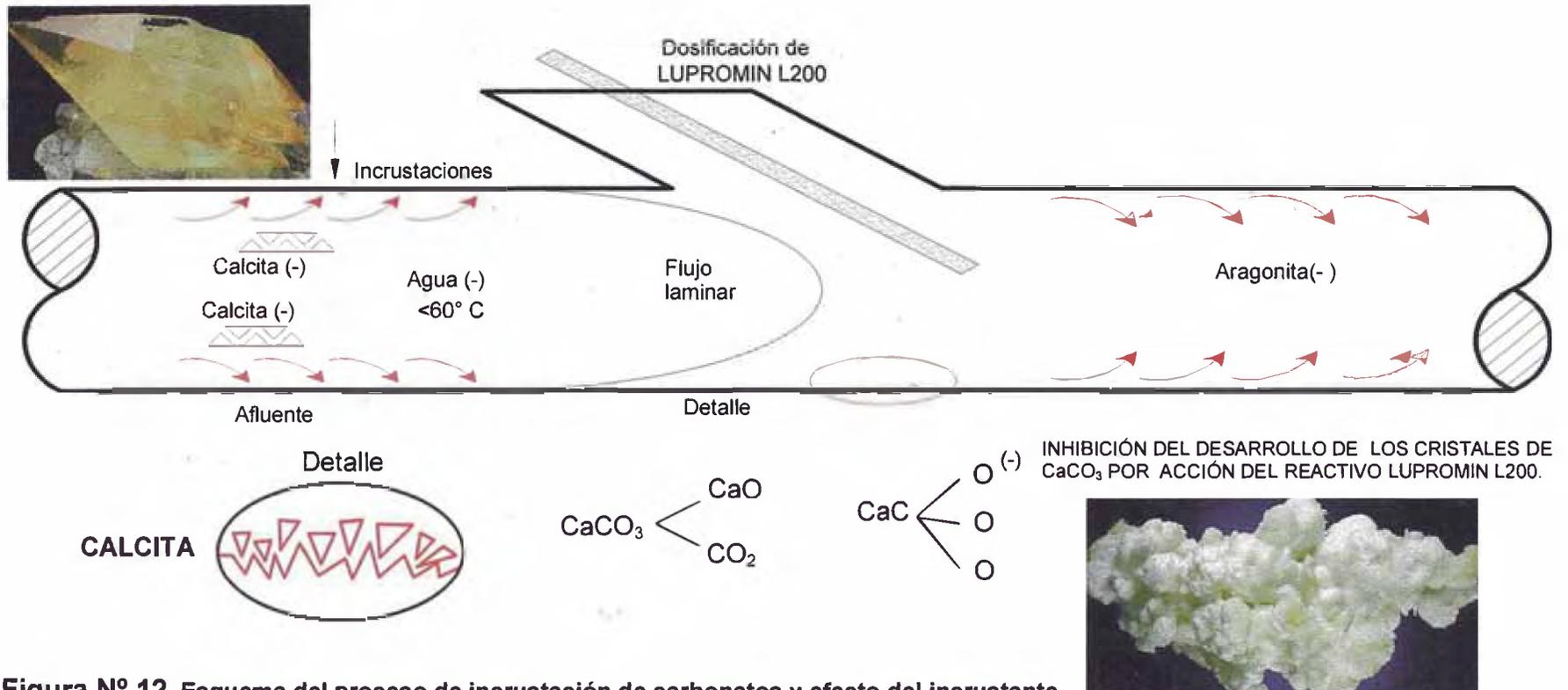


Figura N° 11. Mecanismo de reacción química

## INCRUSTACIÓN DE CARBONATOS Y EFECTO DEL ANTINCRUSTANTE

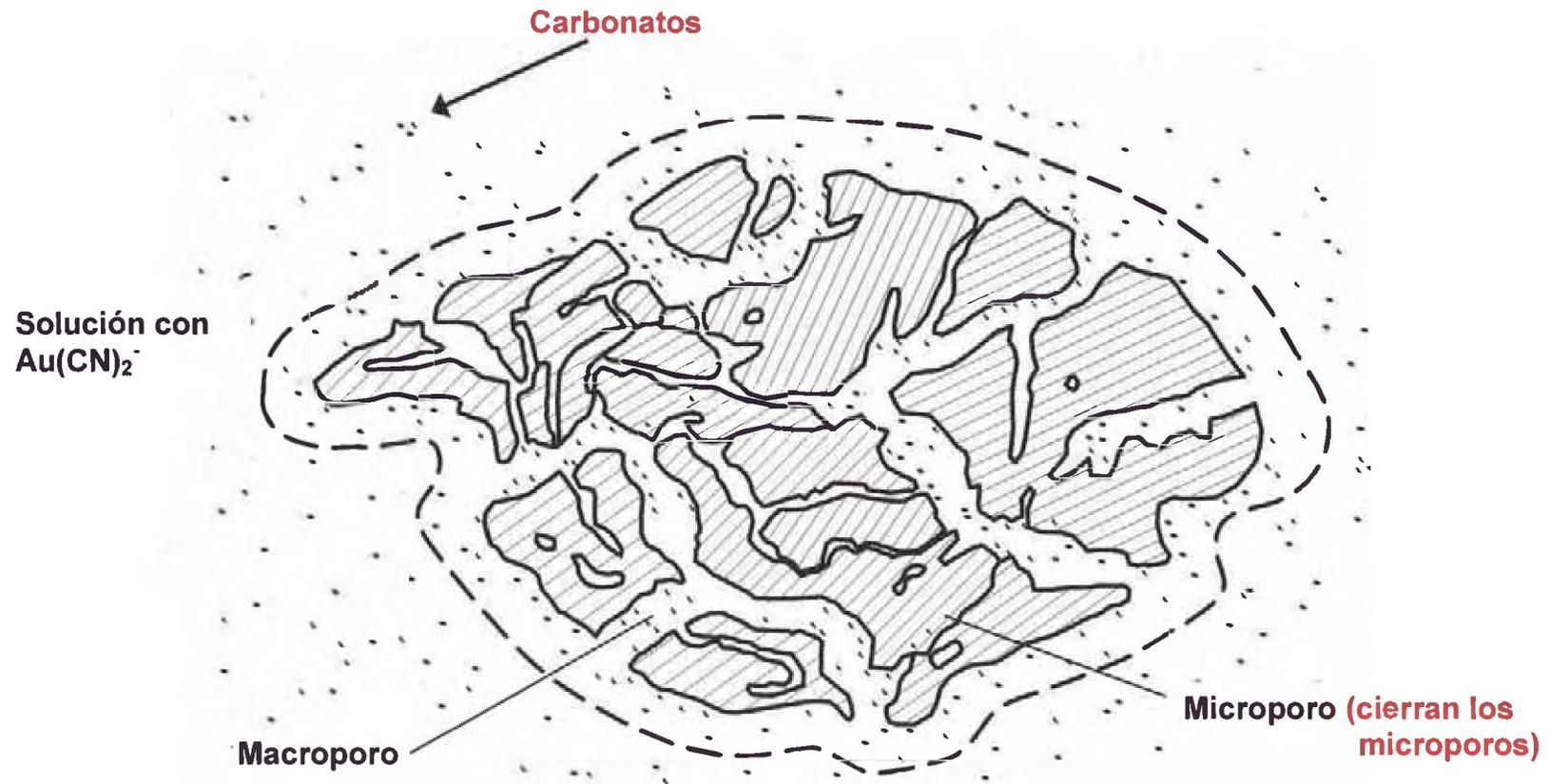
Las incrustaciones pueden ser cristalinas o amorfas.

DESARROLLO NORMAL DE LOS CRISTALES DE  $\text{CaCO}_3$  SIN ANTINCRUSTANTE.



**Figura N° 12. Esquema del proceso de incrustación de carbonatos y efecto del incrustante.**

Observación.- Se observa como el  $\text{CaCO}_3$  en la forma de Calcita va precipitando por acción del contacto de los iones  $\text{Ca}^{+2}$  con el  $\text{CO}_3^{-2}$  producto de la disolución del  $\text{CO}_2$ . Por otro lado se observa el efecto del Antincrustante para retardar la velocidad de cristalización y cambiar la estructura del  $\text{CaCO}_3$  en la forma de Aragonita que es una estructura más soluble que la Calcita.



**Figura Nº 13.-** Estructura del Carbón Activado y el efecto de los carbonatos.

Se observa como los carbonatos se depositan dentro del carbón en los microporos y macroporos. Obstruyendo y tapando las cavidades de entrada del carbón para la adsorción del Au. Se debe señalar que la mayor capacidad de adsorción del carbón activado se produce en los microporos

### **CAPÍTULO III**

#### **DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN**

En este capítulo se describen los parámetros de operación así como las principales etapas de operación de la planta de la Minera Colibrí S.A.C. Minera Colibrí S.A.C. es una empresa dedicada a la actividad minera aurífera. Es propietario y cesionario de concesiones mineras, así mismo brinda servicios en la comercialización (compra) de minerales y relaves de amalgamación a los mineros artesanales por lo que cuenta con una Planta de Beneficio con capacidad de 120 TMD.

Cabe indicar que el desarrollo del trabajo de investigación solo se efectuó en la planta de procesamiento en el cual se desarrollan las siguientes etapas:

Recepción y almacenamiento de minerales y relaves de amalgamación

Trituración: primaria y secundaria

Trasporte por fajas

Almacenamiento de finos

Adición de reactivos

Molienda

Clasificación

Cianuración y adsorción con carbón activado

Cosecha de carbón cargado.

### **3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS**

#### **3.1.1 Chancado**

El chancado se hace en circuito abierto en dos etapas., chancado primario y chancado secundario; en el primario todo el mineral se reduce a malla < 1 3/4" y en el secundario todo el mineral se reduce a malla < 5/8". Esa granulometría es suficiente para obtener una buena liberación del oro en la etapa de molienda/clasificación.

### **3.1.2 Molienda/Clasificación**

La molienda se hace en un circuito abierto con un molino de bolas 5`x 10`y un hidrociclón D-6; este tipo de circuito es típico para obtener tamaño de corte fino de 55% 74  $\mu\text{m}$ ., el overflow se alimenta al molino 4`x4` y el underflow se alimenta al molino secundario 5`x 5`., la descarga de este alimenta al molino 4.5`x 4`., los molinos 4`x 4` y 4.5`x 4`x 4`., trabajan cada uno con hidrociclón D-4`., en circuito cerrado

La alimentación de pulpa mineral a los tanques cianuradores es del UNDERSIZE de la zaranda 3`x 6`., elimina los residuos sólidos que acompañan al flujo y evitar la obstrucción de las canatillas de los tanques CIP.

La pulpa producida por el circuito es alimentada al tanque cianurador N°1 y así en cascada aguas abajo hasta el N° 5., del tanque N°6 al N°12 llevan carbón para la ADSORCION de Au-Ag.

Es muy importante que la densidad de los reboses de los ciclón sea la adecuada (1.42 g/l) porque sólo con esa densidad habrá la fluidez y oxigenación para la cianuración de este tipo de mineral.

### **3.1.3 Cianuración**

La cianuración consiste en disolver el oro libre que hay en el mineral de cabeza y así obtener un producto que se llama "solución rica" es decir solución cargada con el oro disuelto. El reactivo que se utiliza para hacer esto es el cianuro de sodio (NaCN).

Se usa una concentración de 5000 ppm de NaCN para este tipo de mineral. La pulpa debe estar protegida con pH 11 para evitar emanaciones de gas cianhídrico.

La pulpa cianurada se agita en los tanques hasta que la concentración de NaCN sea constante lo cual ocurre luego de 36 horas aproximadamente.

La concentración de NaCN y el pH se mide cada hora durante la alimentación a los tanques agitadores 1 al 5.

El mineral parcialmente oxidado se procesa como un mineral totalmente oxidado sin considerar la influencia de las pequeñas manchas de sulfuros.

La cianuración en las plantas de 50 tpd o más es continua y el tiempo total de 25.08 horas de cianuración y 6.98 horas de adsorción se distribuye en los tanques CIP 8'x 8'.

El proceso de cianuración descrito por Elsner es:



### 3.1.4 Adsorción

La adsorción consiste en atrapar el oro de la solución rica; esto se hace mezclando la solución rica de la pulpa con carbón activado en los tanques CIP. En esa mezcla el oro ingresa a los poros del carbón y se obtiene el carbón cargado con oro que es el producto final del proceso.

El carbón se agrega a los tanques CIP 8'x 8', para un tratamiento diario de 100 tmd., y una ley de cabeza de 12 gr/tm., 2616 Kgs, distribuidos en los 7 tanques CIP

El peso de carbón que se debe agregar a los tanques se calcula teniendo en cuenta la duración de la campaña que en el caso de Colibrí La campaña es de 15 días.

Antes de agregar el carbón al tanque se tamiza con la malla 14 (la malla mosquetero tiene esa abertura) con lo cual se evita la adición de carbón fino a los tanques debido a que si retornan estos finos se estaría corriendo el riesgo de que estos se vayan al relave con oro cargado por que estarían pasando por las mallas de las castillas de los tanques CIP

Antes de que los carbones sean tamizados previamente se han sometido a los tratamientos de reactivación acida(Lavado acido) para la eliminación de carbonatos esto se realiza con 70 Kg de HCl / Tonelada de carbón, la solución de HCl es al 2% con lo cual se consigue limpiar los poros del carbón.

Finalmente después del lavado acido se somete al carbón a una reactivación térmica en un horno a 85 °C con la finalidad de eliminar materia orgánica y grasas con la finalidad de devolverle al carbón sus propiedades físicas y poder reutilizarlo en el siguiente proceso.

### 3.2 Abastecimiento y consumo de agua industrial

El agua que se consume en la planta de beneficio es captado de un pozo artesanal mediante el uso de una bomba ubicada en la casa huerta del Señor Rubio, la que se halla ubicada en la quebrada del Convento a 420 m. de distancia de la planta. El agua es extraída desde un pique de 30 m. de profundidad el cual es depositada en un reservorio de capacidad 385 m<sup>3</sup>. Desde allí es bombeada hacia el reservorio principal de la planta que tiene una capacidad de almacenamiento de 316 m<sup>3</sup> desde el cual es distribuido a las diferentes áreas de la planta.

Para el tratamiento de una tonelada de mineral se requiere 1.2 m<sup>3</sup> de agua según Tabla N° 9 (demanda de agua industrial Planta Doble "D"), los parámetros de operación en la planta son:

G.E del mineral= 2.7

Densidad de pulpa= 1.400 Kg/l

% en sólidos=45.38

Malla = 80% -200 mesh

Fuerza de cianuro= 5000 ppm (Over Flow)

Para el tratamiento de 100 TMD de mineral se requerirán 120.37 m<sup>3</sup>/día de las cuales se recirculan 40 m<sup>3</sup>/día de solución barren; en consecuencia el consumo de agua fresca será 80 m<sup>3</sup>/día, considerando las pérdidas por evaporación e infiltraciones.

Para la determinación de la dureza promedio de agua usada en el proceso se han realizado el muestreo en tres puntos principales de abastecimiento de agua a la planta según Tabla N°10.

Punto N°1: Muestra tomada en el pozo artesanal del Sr. Raúl Rubio

Punto N°2: Muestra tomada en el reservorio principal de planta

Punto N°3: Muestra tomada en la cancha relavera

**Tabla N° 9.- Demanda de agua industrial Planta "Doble D".**

<b>TMS</b>	<b>G.E</b>	<b>VOL MINERAL(m3)</b>
<b>100</b>	<b>2.7</b>	<b>37.04</b>
<b>Volumen de agua</b>	<b>% SOLIDOS</b>	<b>Volumen de agua(m3)</b>
<b>120.37</b>	<b>45.38</b>	<b>120.37</b>
<b>Peso total de pulpa</b>	<b>Densidad de pulpa</b>	<b>Volumen total de pulpa(m3)</b>
<b>220.37</b>	<b>1.400</b>	<b>157.41</b>
<b>Caudal de pulpa (m3/hora)</b>	<b>6.6 m<sup>3</sup>/h</b>	

**Tabla N° 10.- Descripción de los puntos de muestreo.**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Descripción del Punto</b>	<b>Dureza total (ppm)</b>
<b>1</b>	<b>Agua de pozo artesanal</b>	<b>396.7</b>
<b>2</b>	<b>Agua reservorio principal</b>	<b>398.4</b>
<b>3</b>	<b>Agua cancha relavera</b>	<b>1643.1</b>

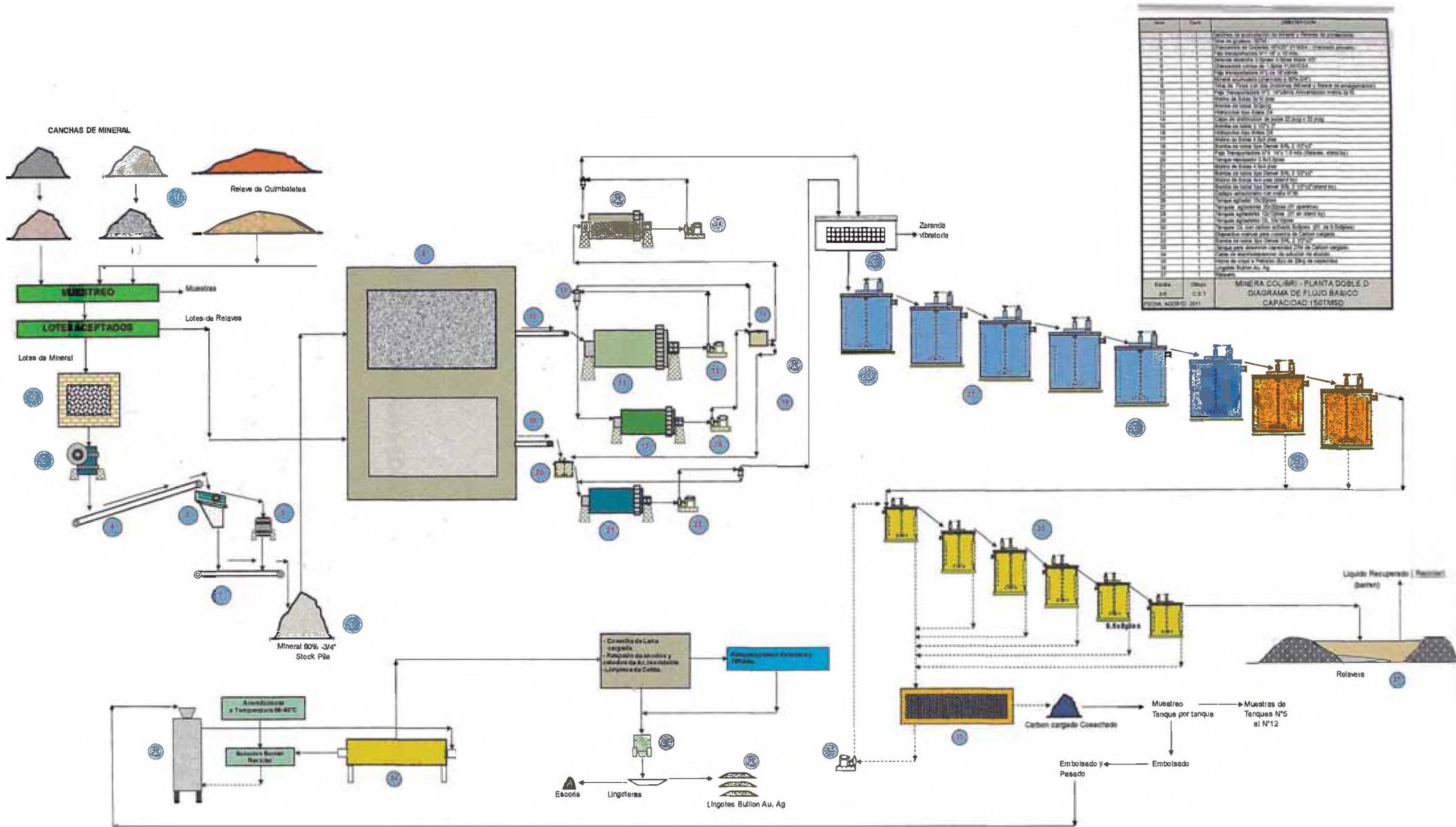


Figura N° 14. DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA "DOBLE D" MINERA COLIBRÍ SA

## CAPÍTULO IV

### PARTE EXPERIMENTAL

En este capítulo se expondrá las pruebas preliminares que se realizó a nivel de laboratorio para luego ser aplicados a nivel industrial en la planta de procesamiento.

#### **4.1 ANÁLISIS PRELIMINAR A NIVEL DE LABORATORIO**

Consistió en la etapa en la cual se realizó pruebas para la determinación de la dosificación óptima de antincrustamiento a nivel de laboratorio, para la aplicación a nivel de planta. Por otro lado a nivel de planta se evaluará el efecto del antincrustante.

Para la evaluación de la dosificación óptima del antincrustante se tomó muestras tanto de solución barren como de agua fresca en la proporción 1/2 según la fracción de consumo considerado en la planta (40 m<sup>3</sup> de solución barren y 80 m<sup>3</sup> de agua fresca).

#### **4.2 Procedimiento de pruebas y análisis realizado a nivel de laboratorio**

##### **4.2.1 Primera Etapa**

En 6 vasos de prueba de 1000 ml se tomó por separado la mezcla de 167 ml de solución barren y 333 m<sup>3</sup> de agua fresca por sextuplicado previa rotulación como sigue:

- M1 → Blanco o estándar (0.0 ppm)
- M2 → Con adición de 0.5 ppm de Lupromin L200
- M3 → Con adición de 1.0 ppm de Lupromin L200
- M4 → Con adición de 1.5 ppm de Lupromin L200
- M5 → Con adición de 2.0 ppm de Lupromin L200
- M6 → Con adición de 2.5 ppm de Lupromin L200

- Luego cada muestra se mezcla con agitación y se pone en la plancha hasta obtener 300 ml aproximadamente, se vierte en 6 embases de vidrio de 500 ml cada uno, se deja reposar durante 24 horas.
- Luego se procedió a añadir las siguientes cantidades: 0.00 ppm, 0.5 ppm, 1.0 ppm, 1.5 ppm y 2.0 ppm, 2.5ppm de Lupromin L200
- Se deja reposar durante 72 horas.
- Luego se procedió a leer la cantidad de carbonatos en solución mediante titulación con EDTA, según procedimiento del Anexo N°4

#### **4.2.2 Segunda Etapa**

- Se desecha la solución y se da un lavado con agua destilada 100 ml.
- Luego se procedió a leer la cantidad en solución mediante titulación con EDTA, según procedimiento Anexo N°4

#### **4.2.3 Tercera Etapa**

- Se desecha la solución y se da un lavado con 20 ml de HCl (10%) se afora a 200 ml usando agua destilada.
- Luego se procedió a leer la cantidad de carbonatos en solución mediante titulación con EDTA, según procedimiento Anexo N°4

### **4.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL A NIVEL DE PLANTA**

En un tanque de preparación de 200 litros de capacidad (cilindro vacío de alcohol) se adiciona un bidón de 20 kilos de Lupromin L200 (15 litros) se completa el llenado del tanque a 200 litros y se agita la de solución de antincrustante para ser alimentado a la planta.

La dosificación del antincrustante es razón de  $1\text{cm}^3/\text{minuto}$ , esta adición se realiza en el overflow de la clasificación de los ciclones D4 (malla estática) ingreso al primer tanque de cianuración(Tabla N° 11)

La dosificación de Lupromin L200(Antincrustante) es a una concentración de 2ppm.

Se realizo inicialmente la evaluación de carbonatos en los líquidos de la pulpa en el circuito de tanques, para ello se determino la cantidad de

carbonatos en el liquido de pulpa de ingreso al Tanque 6 para determinar qué cantidad de carbonatos ingresan al primer tanque de adsorción, posteriormente se determino la cantidad de carbonatos que quedaban en el liquido de pulpa a la salida del tanque 9 (Tanque intermedio de adsorción) ya que era necesario determinar la cantidad de carbonatos que se habían incrustado en el carbón en los primeros tanques de adsorción (Tanques 6, 7, 8 y 9) .

Finalmente se determino los carbonatos que quedaban en el liquido de pulpa a la salida del último tanque de adsorción tanque 12 para de esta forma evaluar la cantidad de carbonatos incrustados en todo el circuito de tanques de adsorción (tanques del 6 al 12).

Por otro lado se realizo la evaluación de carbonatos adsorbidos (incrustados) en el carbón activado adicionados a los 7 tanques de adsorción, inicialmente la evaluación se realizo sin la adición de antincrustante.

Posteriormente se realizo la evaluación de carbonatos adsorbidos en el carbón activado adicionado en los tanques de adsorción en este caso se realizo dicha evaluación con la adición de antincrustante Lupromin L200, se realizo el control por día durante en una campaña que duro 15 días.

La evaluación de carbonatos en el liquido de pulpa como en el carbón activado se realizo tomando muestras compositos del dia, para dicha evaluación se tomaron muestras tanto de pulpa como de carbones los cuales fueron analizados según procedimiento de los Anexos 4 y 5 respectivamente.

**Tabla N° 11.- Punto de aplicación y dosificación del reactivo antincrustante.**

Producto	Punto de aplicación	Caudal de agua (m3/dia)	Dosificación antincrustante (cm3/min)	Consumo por dia (gr)
Lupromin L200	Over Flow (malla estatica)	120.37	1	240.74
<b>Consumo mensual</b>				<b>7222.20</b>

#### 4.4 COSTO DE ANTICRUSTANTE

El costo del anticrustante LUPROMIN L200 es de 12.5 \$/Kg, luego evaluamos los costos mensuales y anuales en la siguiente Tabla.

**Tabla N° 12.-** Costo de anticrustrante por año.

<b>PRODUCTO</b>	<b>PRECIO</b>	<b>CONSUMO POR DÍA (gr)</b>
LUPROMIN L200	12.5	240.74
Consumo mensual (gr)		7222.20
Consumo anual (Kg)		86.666
Costo por año (\$)		1083

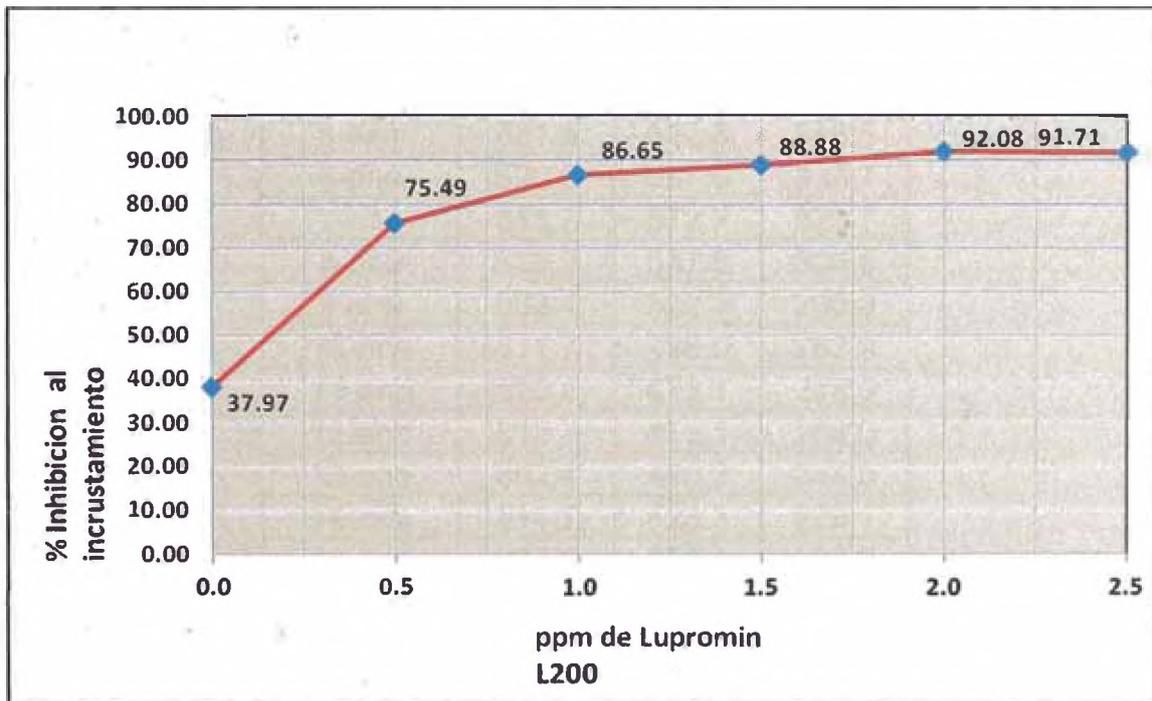
## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 A NIVEL DEL LABORATORIO

**Tabla N° 13.** Resultados del porcentaje de inhibición al incrustamiento de carbonatos.

Muestras	Dosificación (ppm)	Carbonatos totales (mg)	Carbonatos desincrustados (mg)	% Inhibición
M1	0.0	821.03	509.32	37.97
M2	0.5	415.61	101.87	75.49
M3	1.0	572.45	76.45	86.65
M4	1.5	580.62	64.56	88.88
M5	2.0	582.56	46.12	92.08
M6	2.5	583.56	48.35	91.71



**Figura N° 15 .** Grafico de inhibicion al incrustamiento de carbonatos a nivel de laboratorio

**Discusion .** Según los resultados obtenidos se puede observar que el mayor % de inhibición al incrustamiento se obtiene con dosis mayores de 1.5 ppm, siendo a 2ppm de Lupromin L200 la dosis mas eficiente , mayores a esta dosis el porcentaje de inhibicion al incrustamiento se mantiene constante.

## 5.2 RESULTADOS A NIVEL DE PLANTA

### 5.2.1 Carbonatos en Líquidos de pulpa

Los puntos de muestreo para la determinación de los resultados de carbonatos en el líquido de pulpa sin la adición de intincrustante se describen en el Figura N° 16.

**Tabla N° 14.** - Resultados del contenido de carbonatos en el líquido de pulpa ingreso al tanque 6, salidas de los tanques 9 y 12 sin el uso de antincrustante

<b>Puntos de Muestreo</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>
<b>Día</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> ppm</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> ppm</b>	<b>CaCO<sub>3</sub> ppm</b>
1-ene	816.8	732.1	398.4
2-ene	806.8	707.2	388.5
3-ene	811.8	677.3	373.5
4-ene	801.8	647.4	358.6
5-ene	821.8	622.5	348.6
6-ene	820.9	597.6	338.7
7-ene	811.7	572.7	323.7
8-ene	820.9	547.8	308.8
9-ene	802.4	522.9	298.8
10-ene	811.7	498.0	283.9
11-ene	820.9	473.1	268.9
12-ene	811.7	473.1	254.0
13-ene	802.4	448.2	244.0
14-ene	811.7	423.3	229.1
15-ene	820.9	398.4	209.2
<b>Promedio</b>	<b>812.9</b>	<b>556.1</b>	<b>308.4</b>

Donde

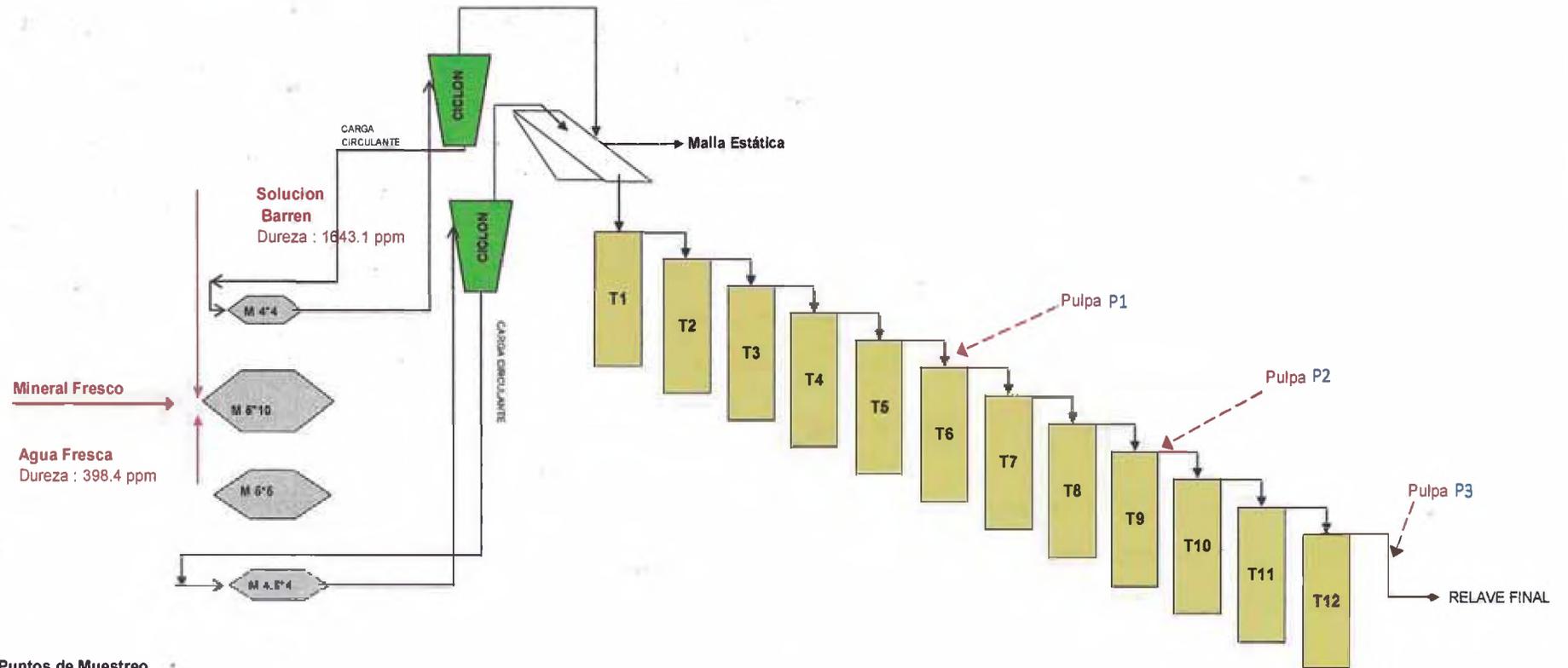
**P1:** Ingreso al Tanque 6

**P2:** Salida del Tanque 9

**P3:** Salida del Tanque 12 (salida a relaves)

**DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA PLANTA**

**Puntos de Muestreo de pulpa en Blanco - (Sin uso de anticrustante)**



**Puntos de Muestreo :**

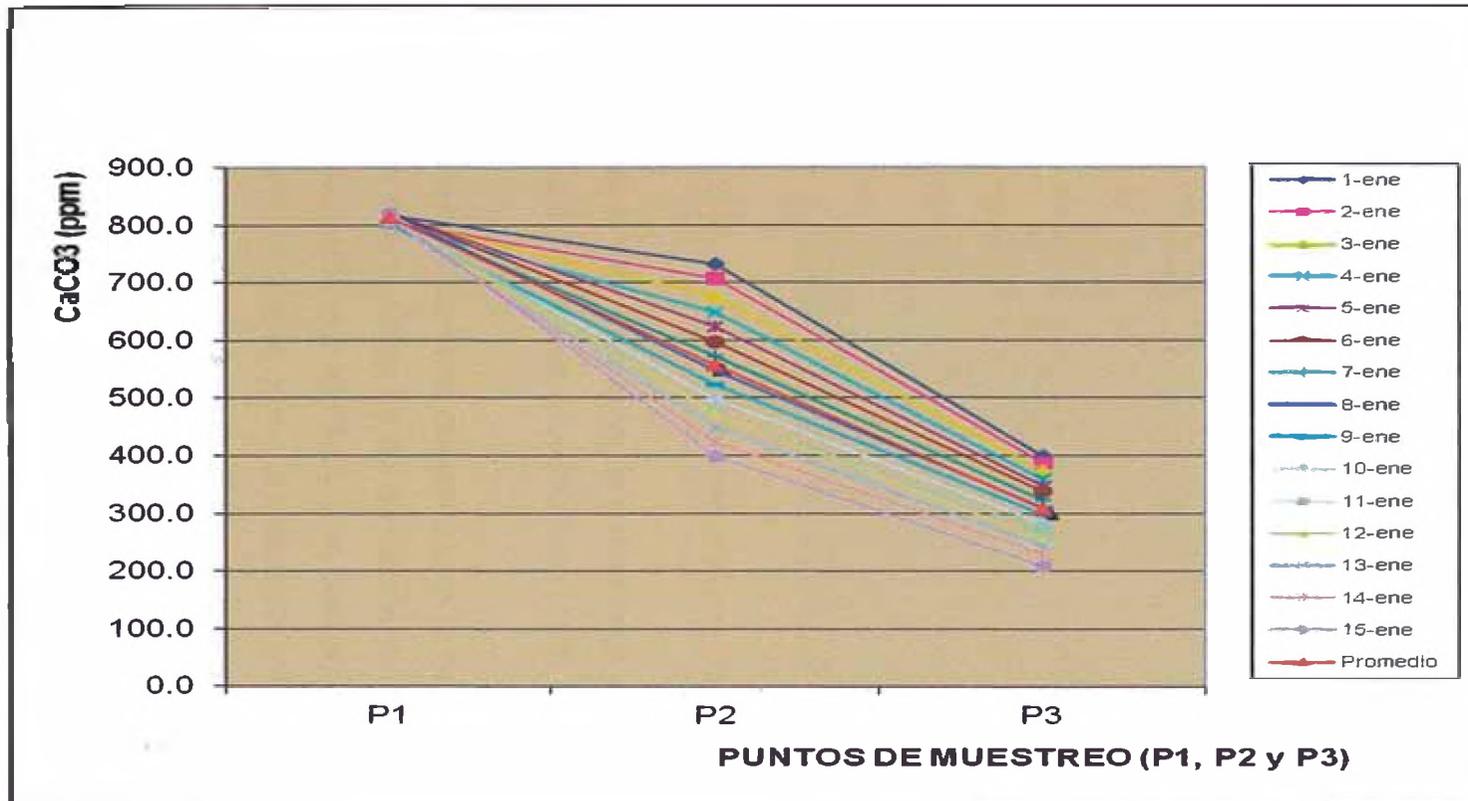
- P1 :** Ingreso Tanque 6
- P2 :** Salida Tanque 9
- P3 :** Salida Tanque 12

**Solucion Barren:** : 1643.1 ppm CaCO<sub>3</sub>  
**Agua Fresca :** : 398.4 ppm CaCO<sub>3</sub>

**Forma de Muestreo :**  
**Tiempo de Muestreo :** 1

Composito / 12 horas  
 01 de Noviembre al 15 Noviembre

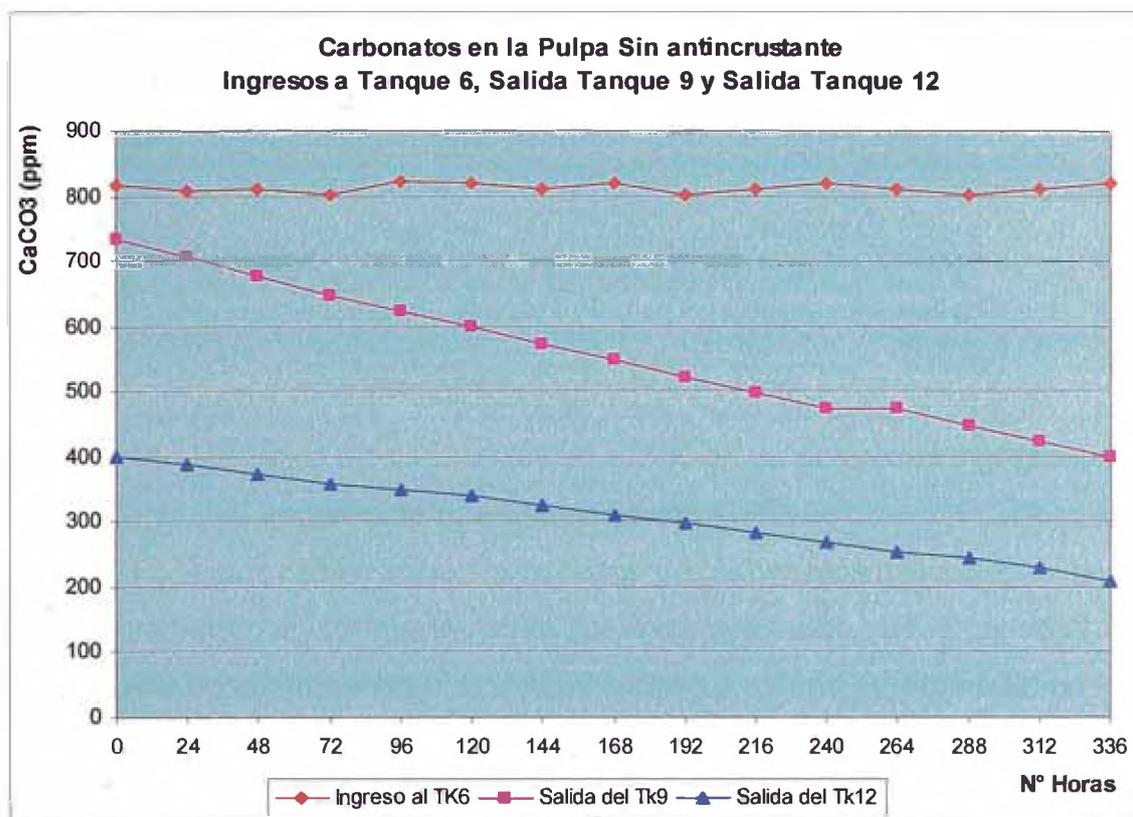
**Figura N° 16.- Diagrama Simplificado de la Planta de los puntos de muestreo de pulpa sin el uso de anticrustantes.**



**Figura N° 17.** - Grafico de resultados del contenido de carbonatos en los puntos de muestreo (P1 , P2 y P3).

**Discusión.** En el punto P1 el contenido de carbonatos en el liquido de pulpa se mantiene constante en funcion del tiempo(dias) debido a que la pulpa aun no ingresa a los tanques de adsorcion, mientras que en los puntos de monitoreo P2 y P3 (salidas tanques 9 y 12 respectivamente) se observa que el contenido de carbonatos en el liquido de pulpa va disminuyendo según el tiempo(dias) debido a la absorcion de estos carbonatos en los carbonos adicionados a los tanques antecesoros, por lo tanto el contenido de carbonatos en el liquido de pulpa en la salida del ultimo tanque (punto P3) sera menor que en el punto 2.

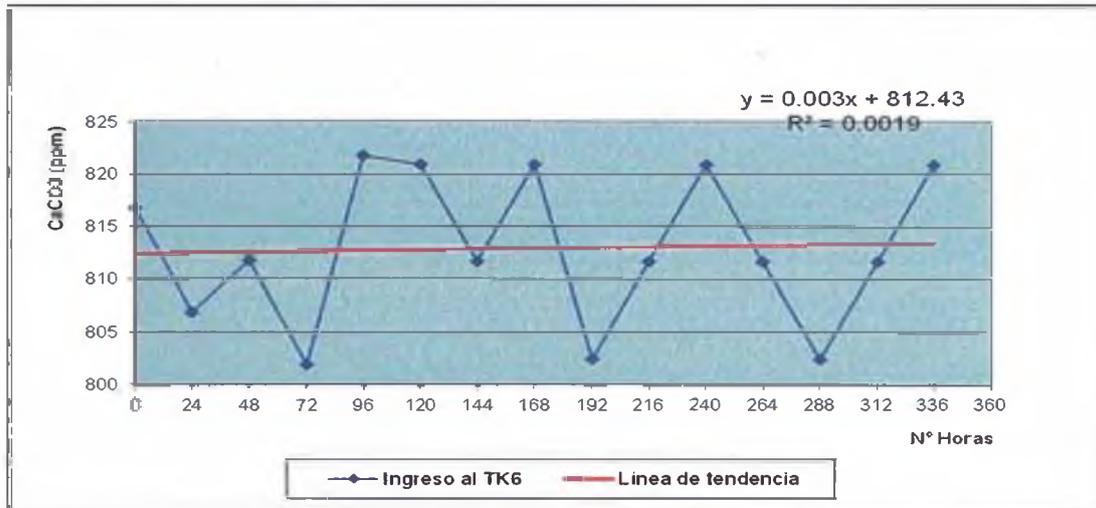
## 5.2.2 Gráficos de variación del contenido de carbonatos en el líquido de pulpa en los puntos de muestreo (P1, P2 y P3)



**Figura N°18.** Variación de carbonatos en el líquido de pulpa que ingresan al primer tanque de adsorción (Tk6), salida de (Tk9) y Salida (Tk12).

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que ingresan al tanque 6 presentan un comportamiento lineal considerando que la cantidad de carbonatos que ingresan son casi equivalentes y estaría en promedio en 812 ppm, mientras que a la salida del tanque 9 conforme la cantidad de carbonatos disminuye conforme al incremento del tiempo en un rango de 400 a 700 ppm. En la salida del tanque 12 se observa un similar comportamiento al tanque 9, pero la variación es en el rango de 200 – 400 ppm, que es menor que en el tanque 9.

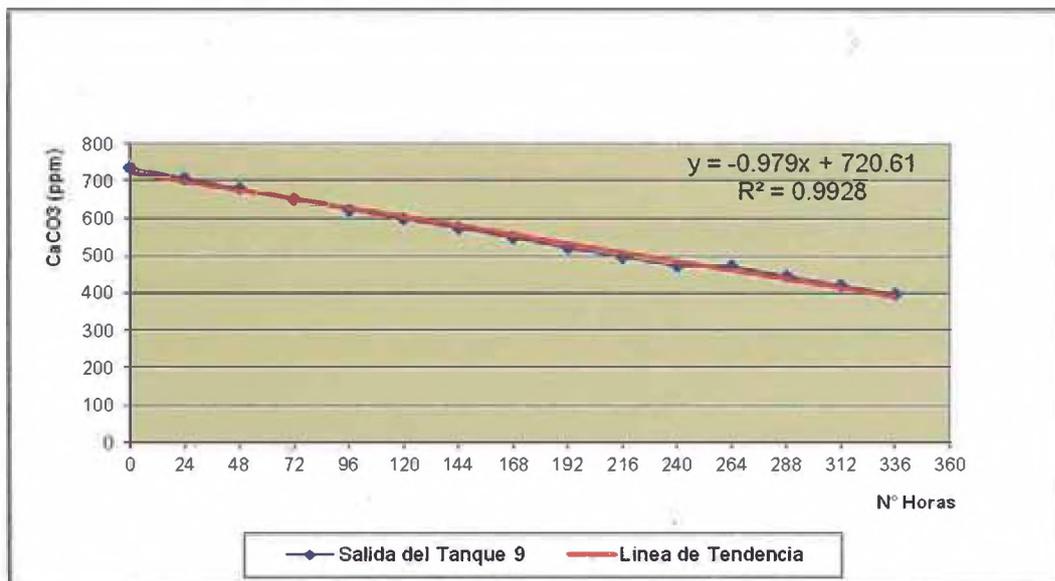
### 5.2.2.1 Ingreso Tanque 6(P1)



**Figura N°19.** Variación de carbonatos en el líquido de pulpa que ingresan al primer tanque de adsorción (Tk6).

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que ingresan al tanque 6 presentan un comportamiento lineal considerando que la cantidad de carbonatos que ingresan son casi equivalentes y estaría en promedio en 812 ppm.

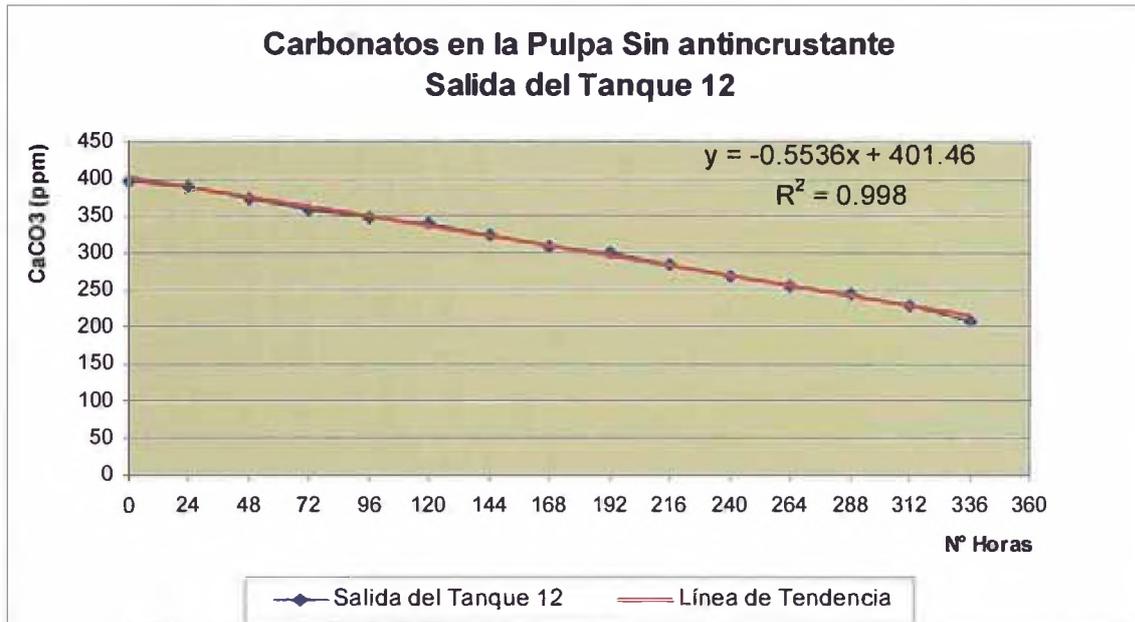
### 5.2.2.2 Salida Tanque 9(P2)



**Figura N° 20.-** Variación de carbonatos en el líquido de pulpa que salen del cuarto tanque de adsorción (Tk9).

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos en el líquido va disminuyendo progresivamente conforme se incrementa el tiempo de adsorción.

### 5.2.2.3 Salida Tanque 12(P3)



**Figura N° 21.-** Variación de carbonatos en el líquido de pulpa que salen del último tanque de adsorción (Tk12).

Discusión. Podemos observar que la cantidad de carbonatos en el líquido va disminuyendo progresivamente conforme se incrementa el tiempo de adsorción.

### 5.2.3 Resultados de carbonatos en carbón.

#### 5.2.3.1 Sin el uso de antincrustantes

Los puntos de muestreo para la determinación de los resultados de carbonatos en el carbón activado adicionado a los tanques sin la adición de antincrustante se describen en el siguiente grafico N° 22.

## DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA PLANTA

Puntos de Muestreo de carbones sin uso de anticrustante

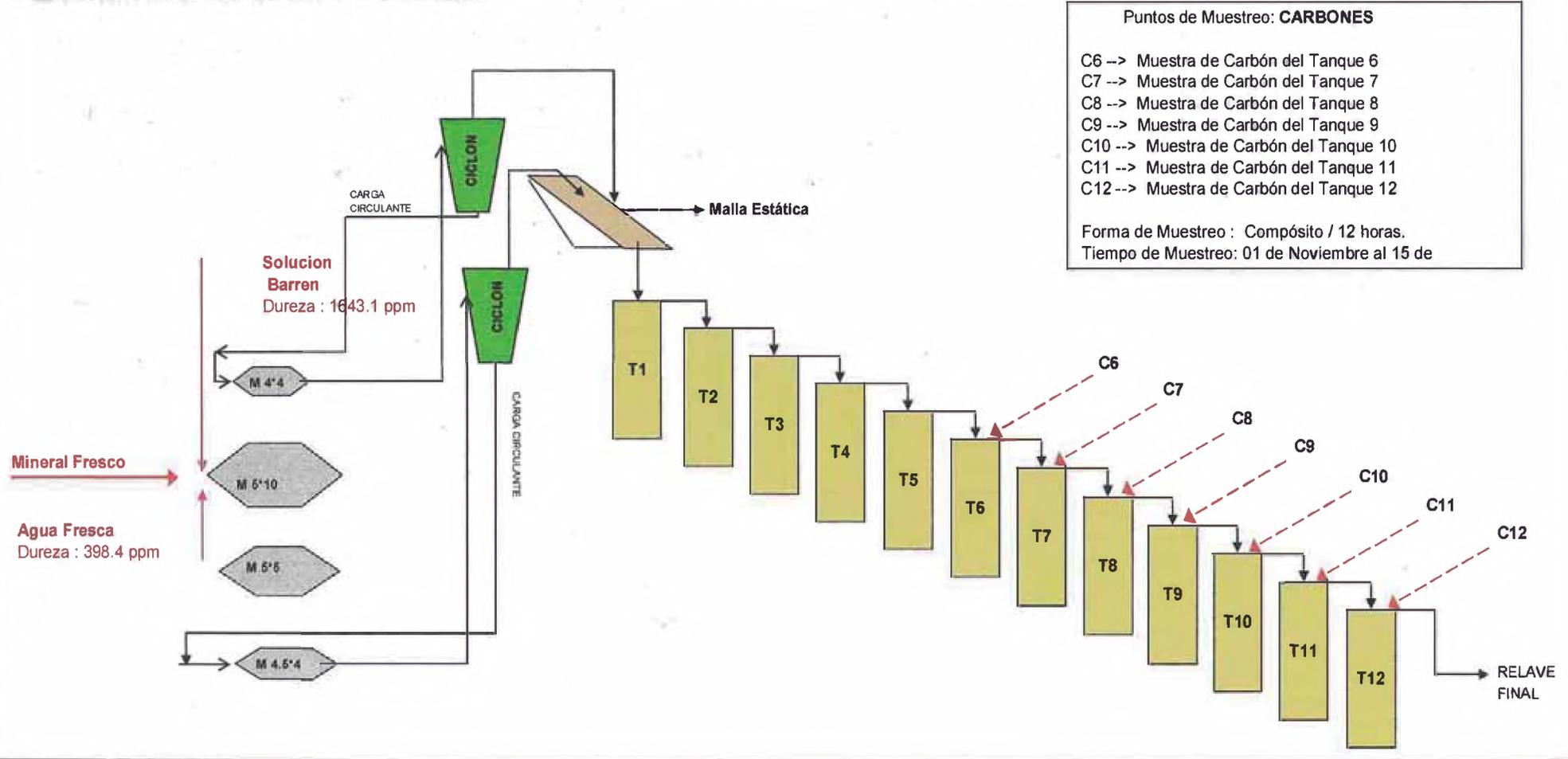
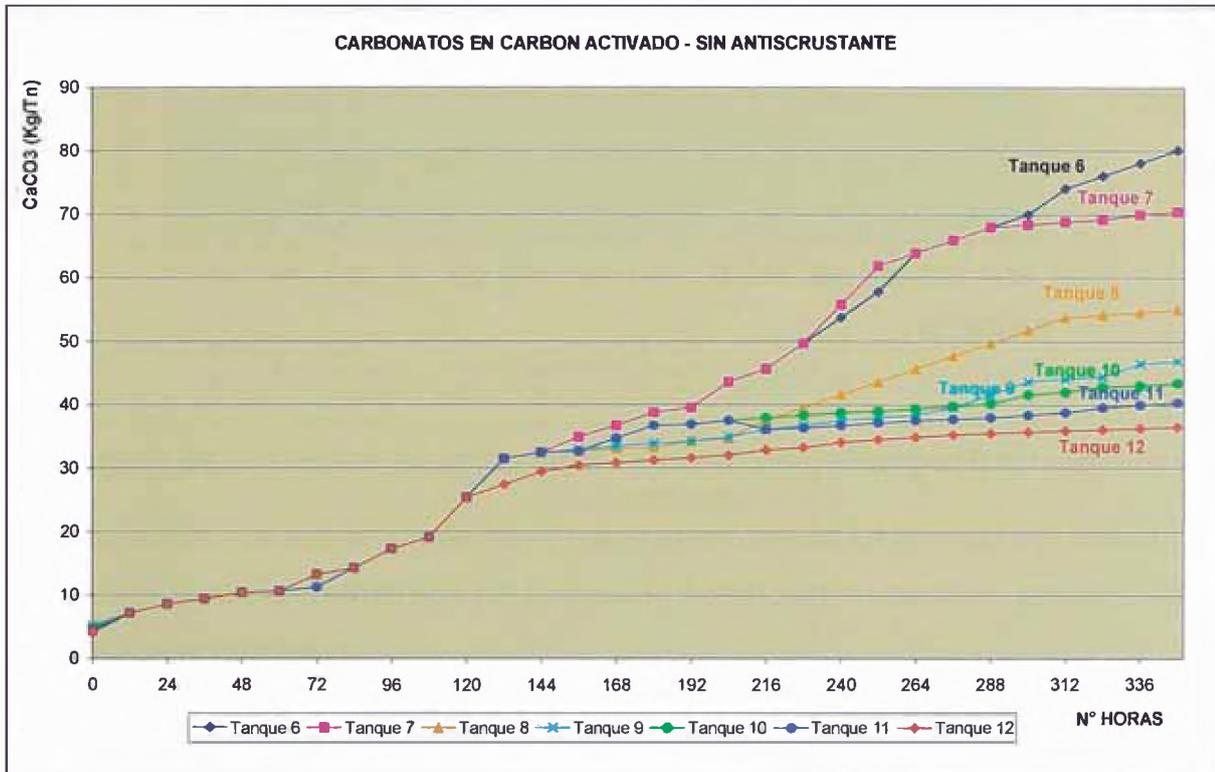


Figura N° 22.- Diagrama simplificado de la planta de los puntos de muestreo de carbones sin el uso de anticrustante.

**Tabla N° 15.- Resultados del contenido de carbonatos en carbón activado sin el uso de antincrustante**

<b>RESULTADOS DE CARBONATOS EN CARBON - BLANCO(Sin el uso de antincrustante)</b>								
<b>Forma de Muestreo</b> :		Composito / 12 horas						
<b>Tiempo de Muestreo</b> :		01 Mar al 15 Mar						
DIA	HORA	TANQUE 6	TANQUE 7	TANQUE 8	TANQUE 9	TANQUE 10	TANQUE 11	TANQUE 12
DIA	HORA	KG / TN	KG / TN	KG / TN	KG / TN	KG / TN	KG / TN	KG / TN
1-Mar	8am	4.06	4.26	4.87	5.07	4.67	4.46	4.26
	8pm	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
2-Mar	8am	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52	8.52
	8pm	9.33	9.33	9.33	9.33	9.33	9.33	9.33
3-Mar	8am	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35	10.35
	8pm	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55	10.55
4-Mar	8am	13.19	13.19	13.19	13.19	13.19	11.16	13.19
	8pm	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20	14.20
5-Mar	8am	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25	17.25
	8pm	19.07	19.07	19.07	19.07	19.07	19.07	19.07
6-Mar	8am	25.36	25.36	25.36	25.36	25.36	25.36	25.36
	8pm	31.45	31.45	31.45	31.45	31.45	31.45	27.39
7-Mar	8am	32.47	32.47	32.47	32.47	32.47	32.47	29.42
	8pm	34.90	34.90	32.67	32.87	32.67	32.67	30.44
8-Mar	8am	36.73	36.73	33.07	33.48	34.70	34.70	30.84
	8pm	38.76	38.76	33.28	33.89	36.73	36.73	31.25
9-Mar	8am	39.57	39.57	34.29	34.29	36.93	36.93	31.65
	8pm	43.63	43.63	34.70	34.90	37.54	37.54	32.06
10-Mar	8am	45.66	45.66	37.54	36.12	37.94	36.12	32.87
	8pm	49.71	49.71	39.57	36.73	38.35	36.32	33.28
11-Mar	8am	53.77	55.80	41.60	37.54	38.76	36.73	34.09
	8pm	57.83	61.89	43.63	37.94	38.96	37.13	34.50
12-Mar	8am	63.92	63.92	45.66	38.35	39.37	37.54	34.90
	8pm	65.95	65.95	47.68	39.57	39.77	37.74	35.31
13-Mar	8am	67.98	67.98	49.71	41.60	40.18	37.94	35.51
	8pm	70.01	68.38	51.74	43.63	41.60	38.35	35.71
14-Mar	8am	74.06	68.79	53.77	44.03	42.00	38.76	35.92
	8pm	76.09	69.19	54.18	44.44	42.81	39.57	36.12
15-Mar	8am	78.12	70.01	54.58	46.47	43.02	39.97	36.32
	8pm	80.15	70.41	54.99	46.87	43.42	40.38	36.52

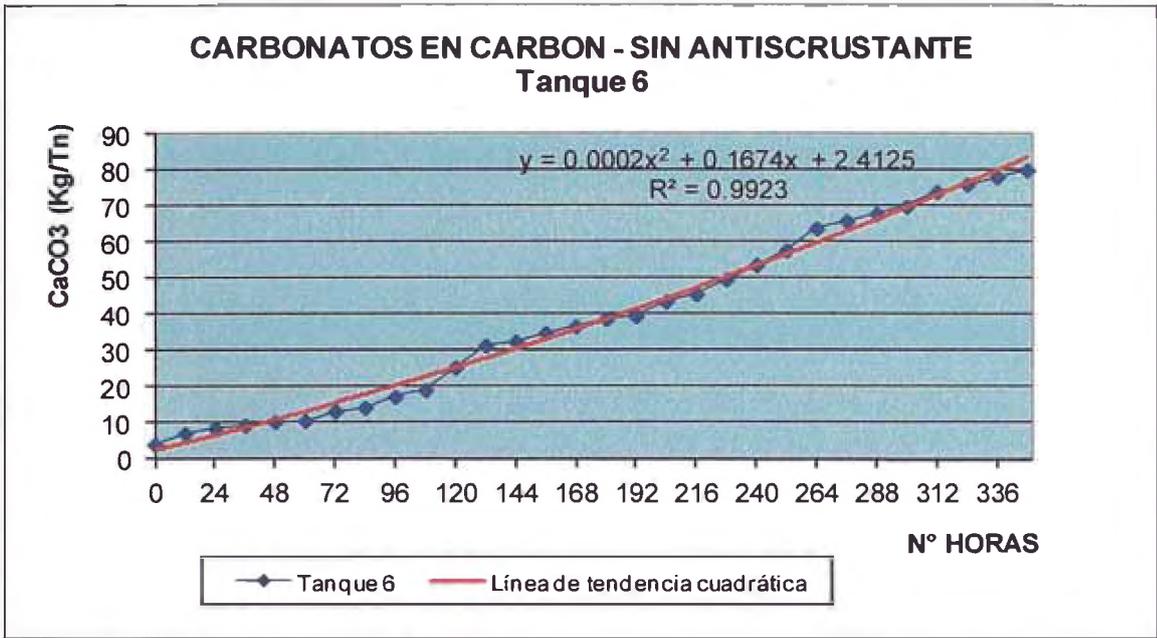
### 5.2.4 Gráficos de variación del contenido de carbonatos en carbón activado de los tanques de absorción del tanque 6 al tanque 12 sin el uso de anticrustantes.



**Figura Nº 23.-** Variación de carbonatos en carbón activado, en el circuito de tanques de absorción del tanque 6 al tanque 12, sin el uso de anticrustante.

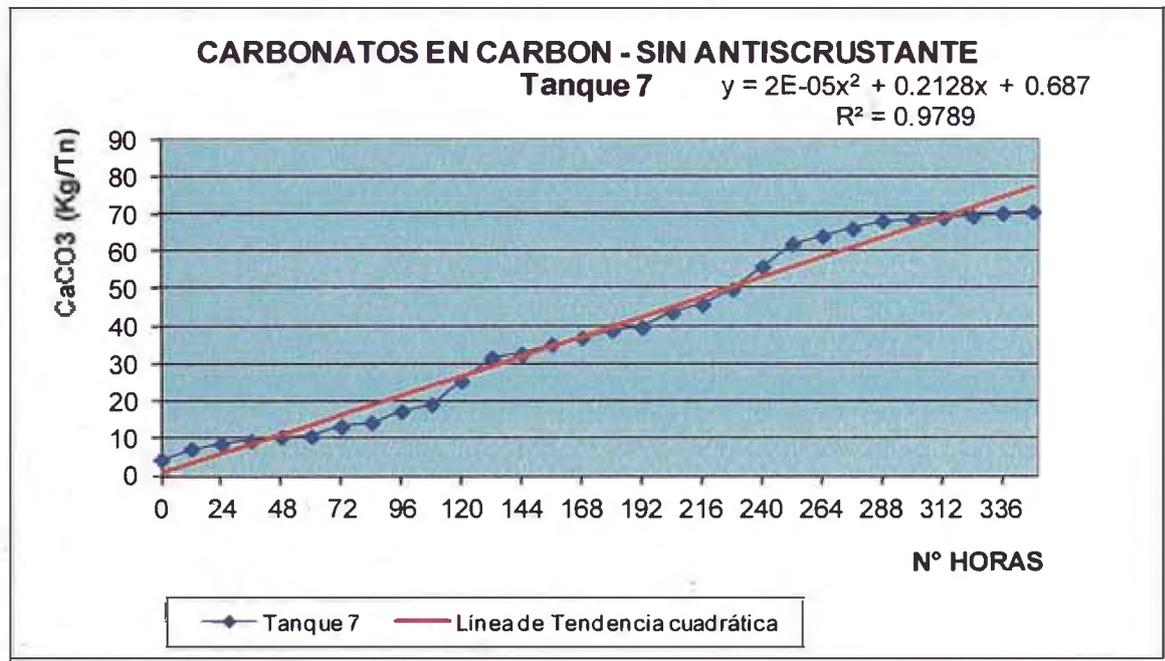
**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado sin la adición de anticrustante se van incrementando en mayor contenido en los primeros tanques de absorción (tanque 6, tanque 7, tanque 8) mientras que en los tanques 9, tanque 10, tanque 11 y tanque 12 la absorción de carbonatos es menor, debido que la mayor cantidad de carbonatos han sido absorbidos en los primeros tanques.

Conforme va aumentando el tiempo de absorción, se observa que la absorción de carbonatos en el carbón activando también se va incrementando en todos los tanques.



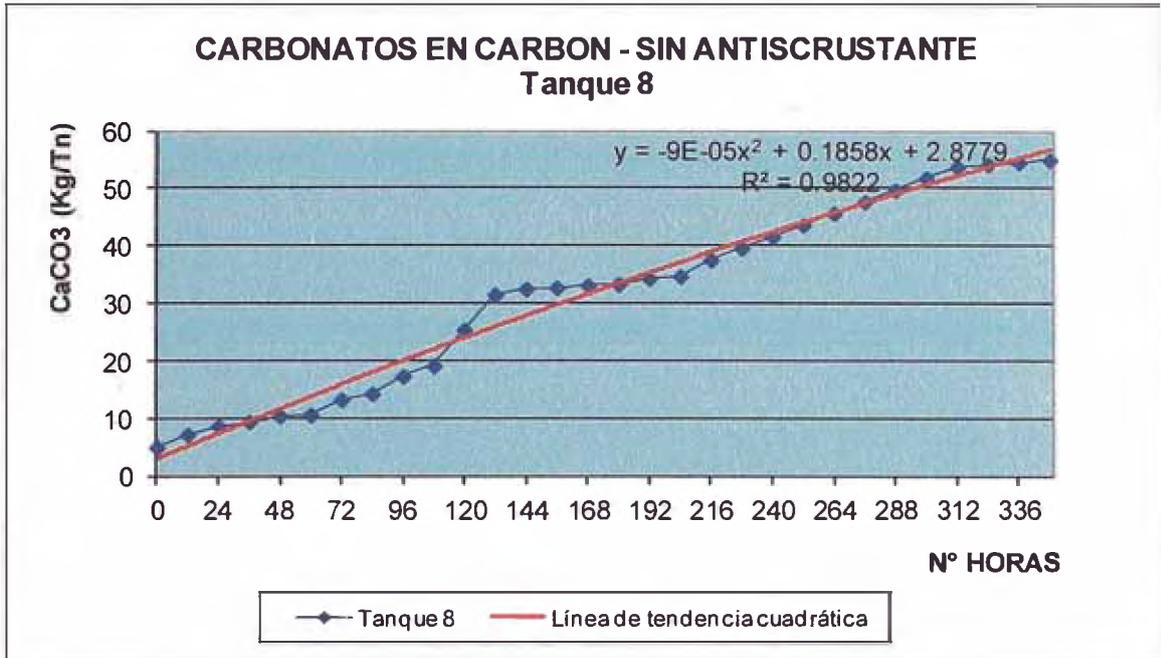
**Figura 24.** Adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 6 sin adición de antincrustante

**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.

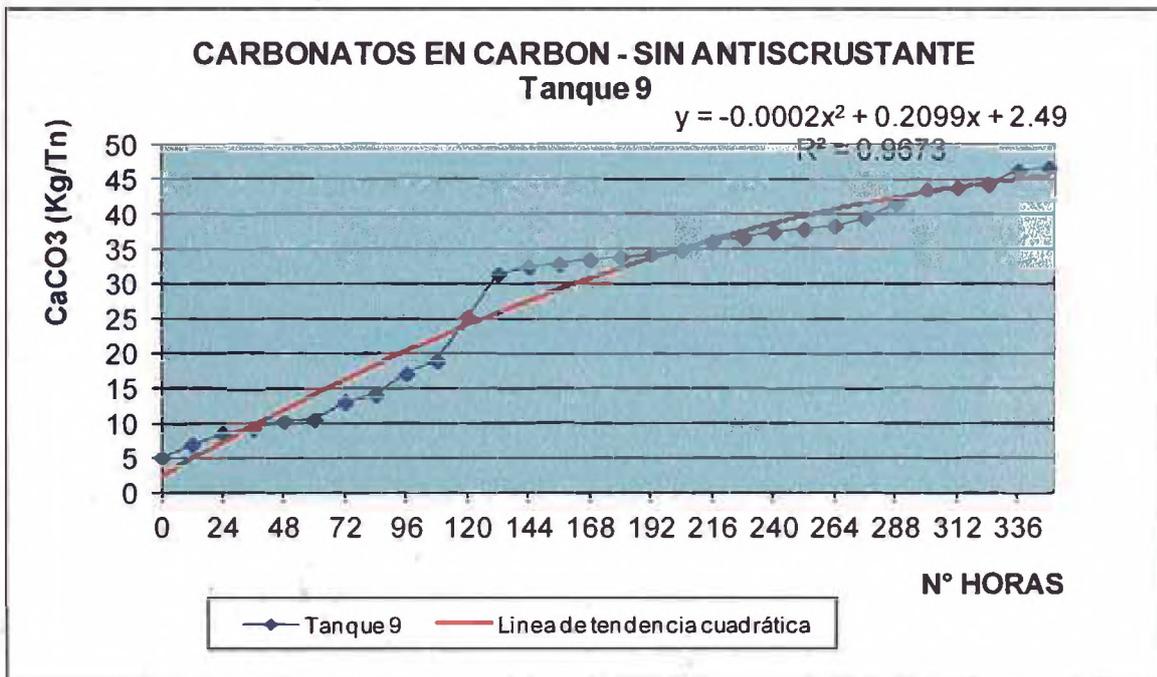


**Figura 25.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 7 sin la adición de antincrustante

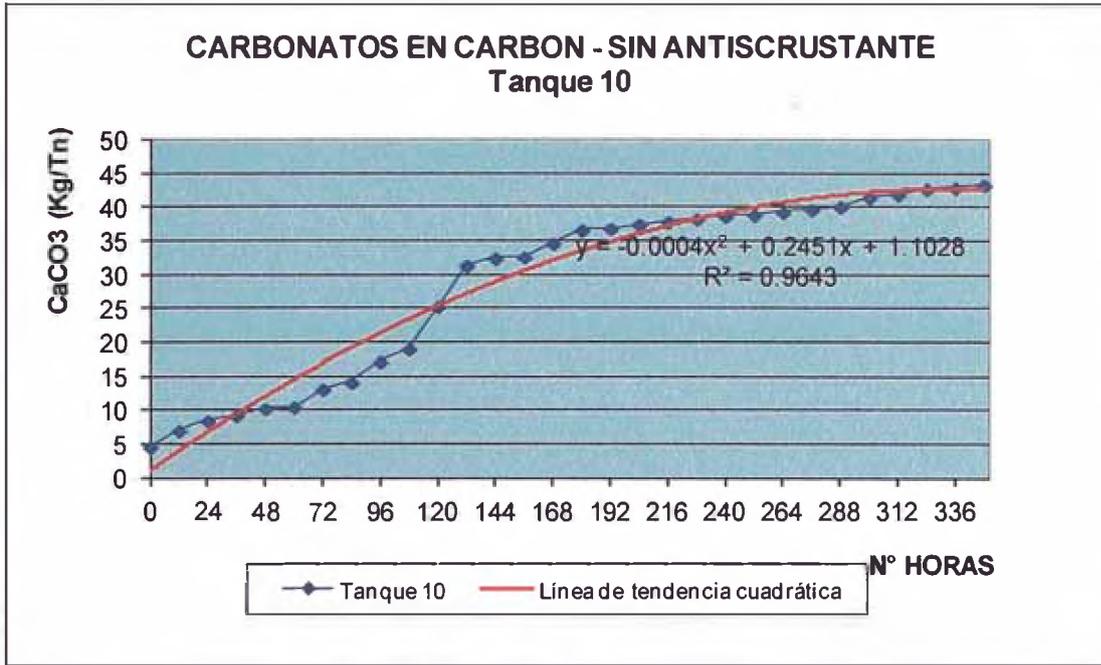
**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática



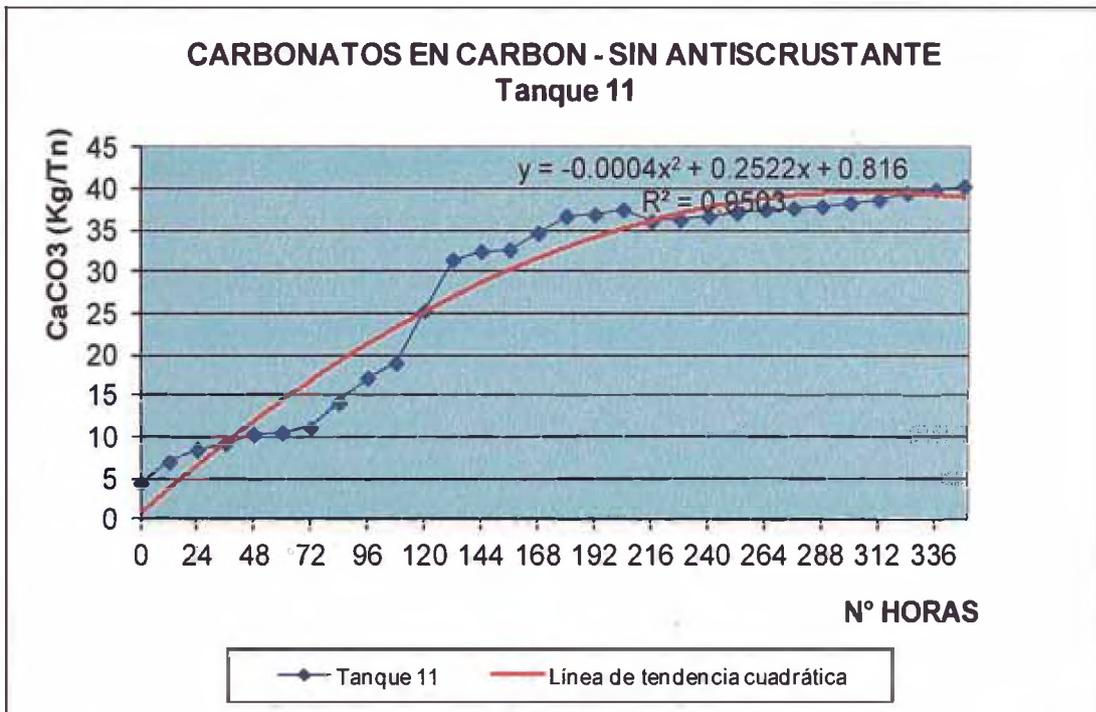
**Figura N° 26.-** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 8 se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.



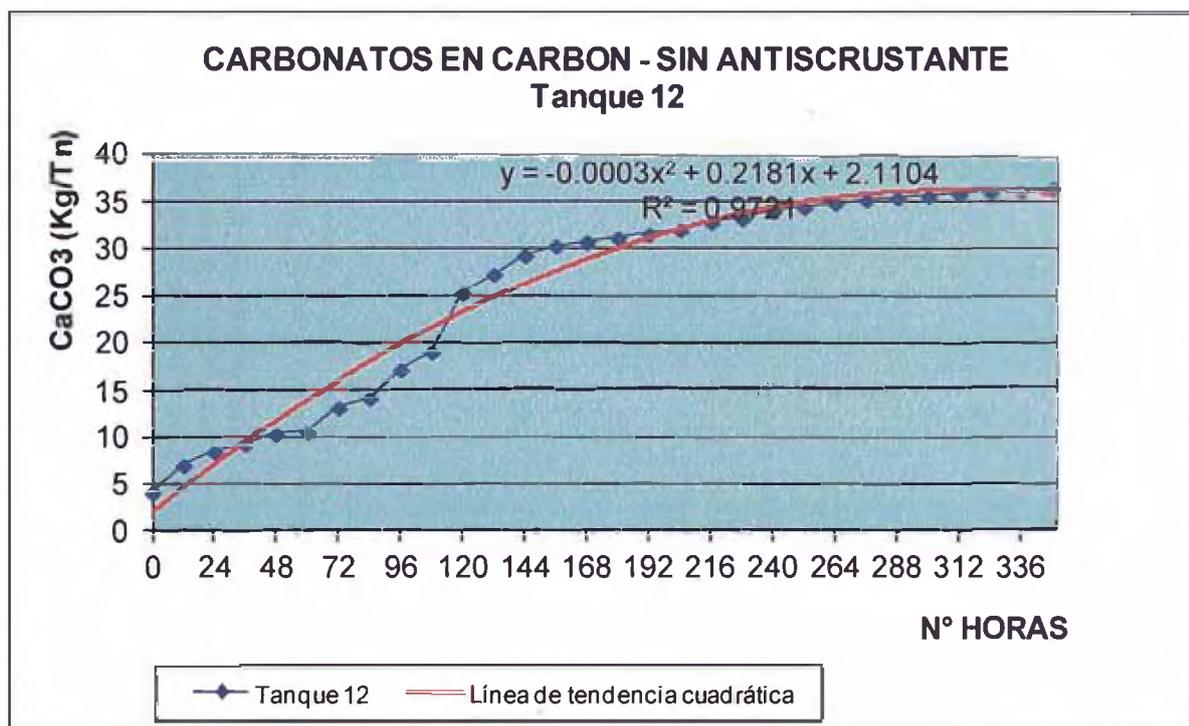
**Figura N° 27.-** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 9 se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.



**Figura N° 28.-** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 10 se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.



**Figura N° 29.-** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 11 se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.



**Figura N° 30.-** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 12 se va incrementando conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia cuadrática.

#### 5.2.2.1 Con el uso de antincrustantes

Los puntos de muestreo para la determinación de los resultados de carbonatos en el carbón activado adicionado a los tanques sin la adición de intincrustante se describen en el siguiente grafico.

DIAGRAMA SIMPLIFICADO DE LA PLANTA

Puntos de Muestreo de carbones: Usando anticrustante

Puntos de Muestreo: **CARBONES**

C6 --> Muestra de Carbón del Tanque 6  
 C7 --> Muestra de Carbón del Tanque 7  
 C8 --> Muestra de Carbón del Tanque 8  
 C9 --> Muestra de Carbón del Tanque 9  
 C10 --> Muestra de Carbón del Tanque 10  
 C11 --> Muestra de Carbón del Tanque 11  
 C12 --> Muestra de Carbón del Tanque 12

Forma de Muestreo : Compósito / 12 horas.  
 Tiempo de Muestreo: 01 de Noviembre al 15 de

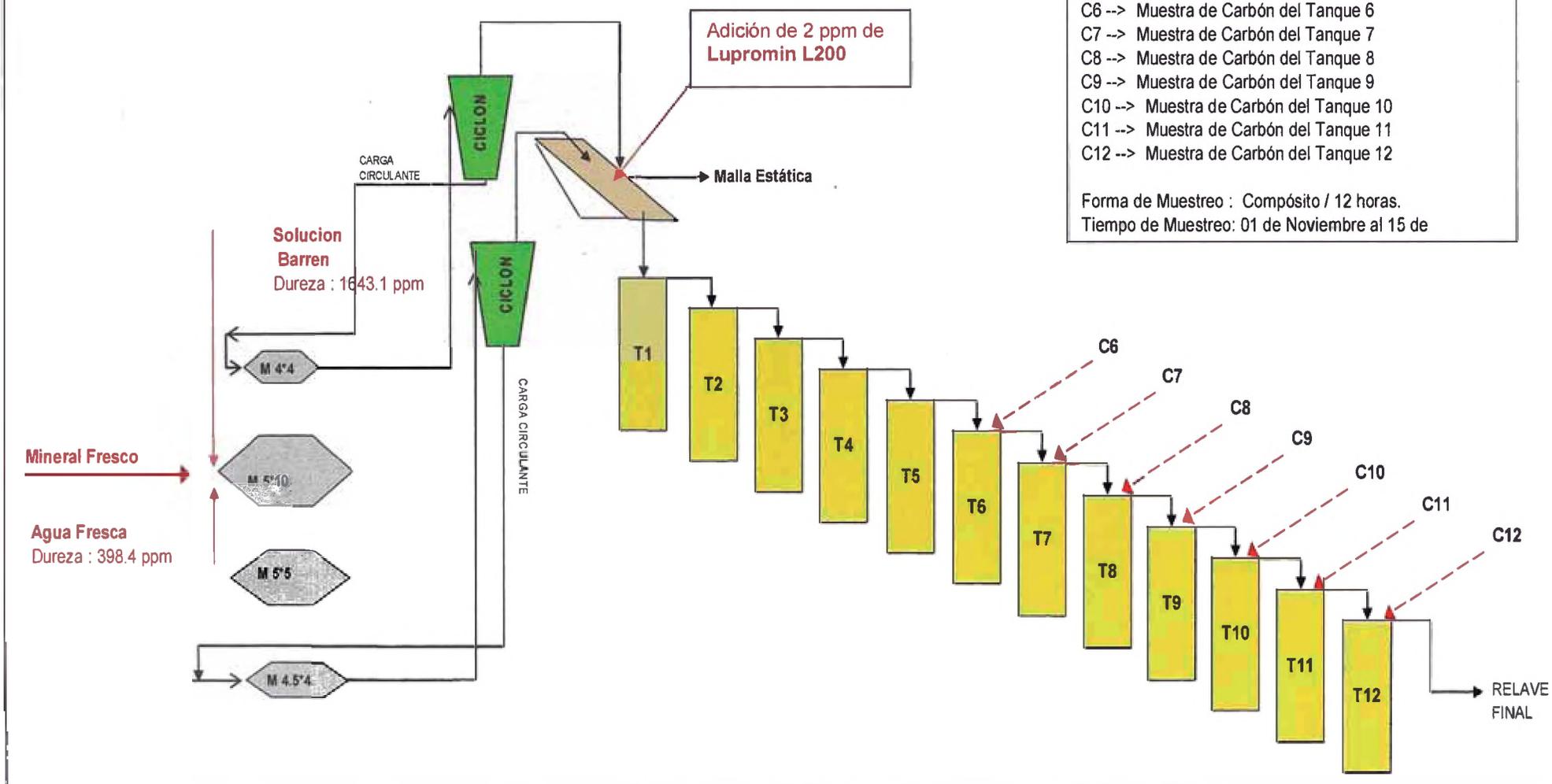


Figura Nº 31.- Diagrama simplificado de la planta de los puntos de muestreo de carbones con el uso de anticrustante-

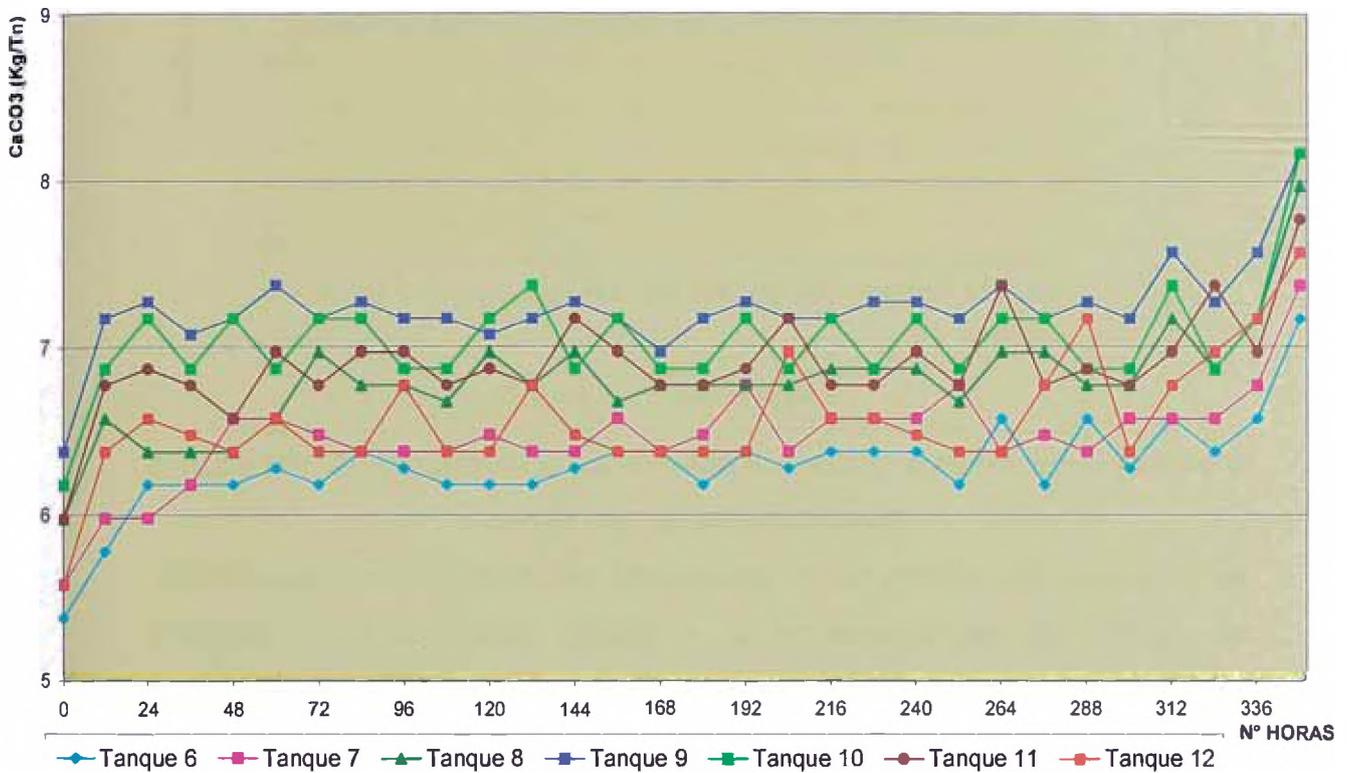
**Tabla N° 16. Resultados del contenido de carbonatos en carbón activado sin el uso de antincrustante**

**Composito:24horas**

**Tiempo de Muestreo 17 ene al 31 ene**

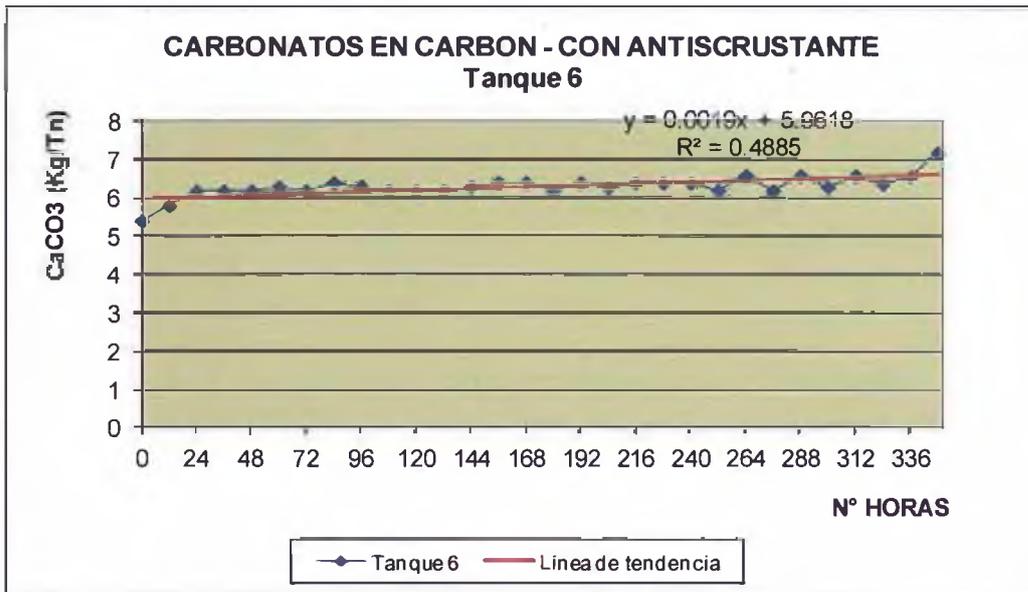
DIA	HORA	TANQUE 6	TANQUE 7	TANQUE 8	TANQUE 9	TANQUE 10	TANQUE 11	TANQUE 12
		KG / TN	KG / TN	KG / TN				
17-ene	7am	4.61	4.78	5.12	5.46	5.12	5.12	4.78
	7pm	4.95	5.12	5.63	6.15	5.89	5.81	5.46
18-ene	7am	5.29	5.12	5.46	6.23	6.15	5.89	5.63
	7pm	5.29	5.29	5.46	6.06	5.89	5.81	5.55
19-ene	7am	5.29	5.63	5.46	6.15	6.15	5.63	5.46
	7pm	5.79	6.07	6.07	6.32	5.89	5.98	5.63
20-ene	7am	5.70	5.98	6.44	6.15	6.15	5.81	5.46
	7pm	6.95	6.95	7.39	7.93	7.82	7.61	6.95
21-ene	7am	6.85	6.95	7.39	7.82	7.50	7.61	7.39
	7pm	6.74	6.95	7.28	7.82	7.50	7.39	6.95
22-ene	7am	6.74	7.06	7.61	7.71	7.82	7.50	6.95
	7pm	6.74	6.95	7.39	7.82	8.04	7.39	7.39
23-ene	7am	6.85	6.95	7.61	7.93	7.50	7.82	7.06
	7pm	6.95	7.17	7.28	7.82	7.82	7.61	6.95
24-ene	7am	6.95	6.95	7.39	7.61	7.50	7.39	6.95
	7pm	6.74	7.06	7.39	7.82	7.50	7.39	6.95
25-ene	7am	7.65	8.13	7.39	7.93	7.82	7.50	6.95
	7pm	7.53	7.65	7.39	7.82	7.50	7.82	7.61
26-ene	7am	8.50	8.77	9.16	9.56	9.56	9.03	8.77
	7pm	9.00	9.28	9.70	10.27	9.70	10.16	8.77
27-ene	7am	9.56	9.86	10.31	10.91	10.76	10.46	8.63
	7pm	9.26	10.16	10.01	11.47	10.31	10.16	8.50
28-ene	7am	11.27	10.93	11.95	12.64	10.76	11.06	8.50
	7pm	12.35	12.95	11.95	12.29	10.76	10.84	8.56
29-ene	7am	13.15	12.75	11.61	12.47	11.00	11.00	9.06
	7pm	13.69	13.15	11.61	12.29	11.00	11.61	8.05
30-ene	7am	15.78	15.78	14.34	12.98	11.79	11.16	8.56
	7pm	17.00	15.78	12.69	12.47	11.00	11.79	8.37
31-ene	7am	19.72	16.59	14.34	15.14	12.29	11.16	8.61
	7pm	24.59	22.11	17.39	16.34	14.00	12.43	9.56

### 5.2.5 Gráficos de variación del contenido de carbonatos en carbón activado (tanques de absorción del tanque 6 al tanque 12) con el uso de anticrustantes.



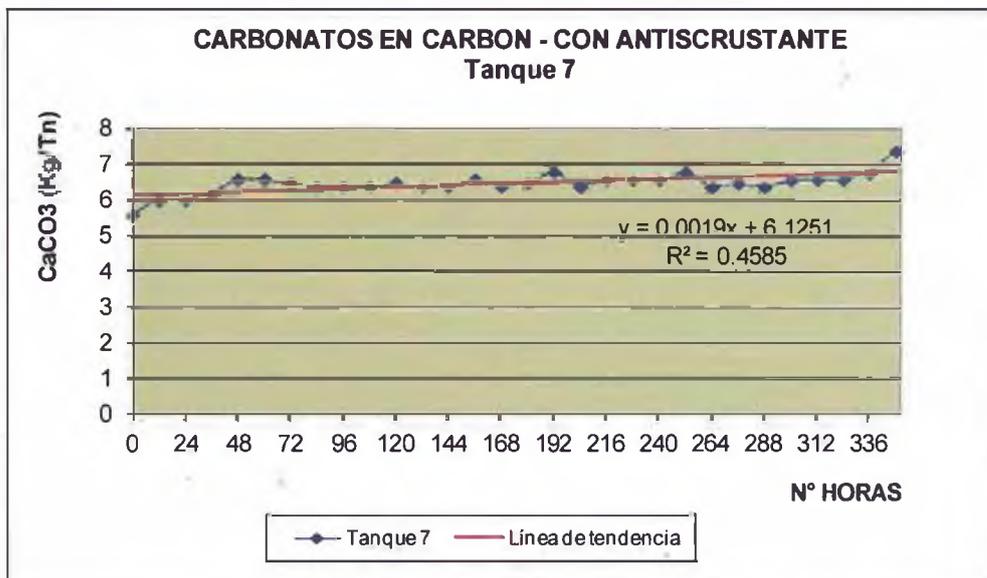
**Figura N° 32.** Variación de carbonatos en carbón activado, en el circuito de tanques de absorción del tanque 6 al tanque 12, con el uso de anticrustantes.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima menores que 8 en todos los tanques y la absorción se mantiene casi constante.



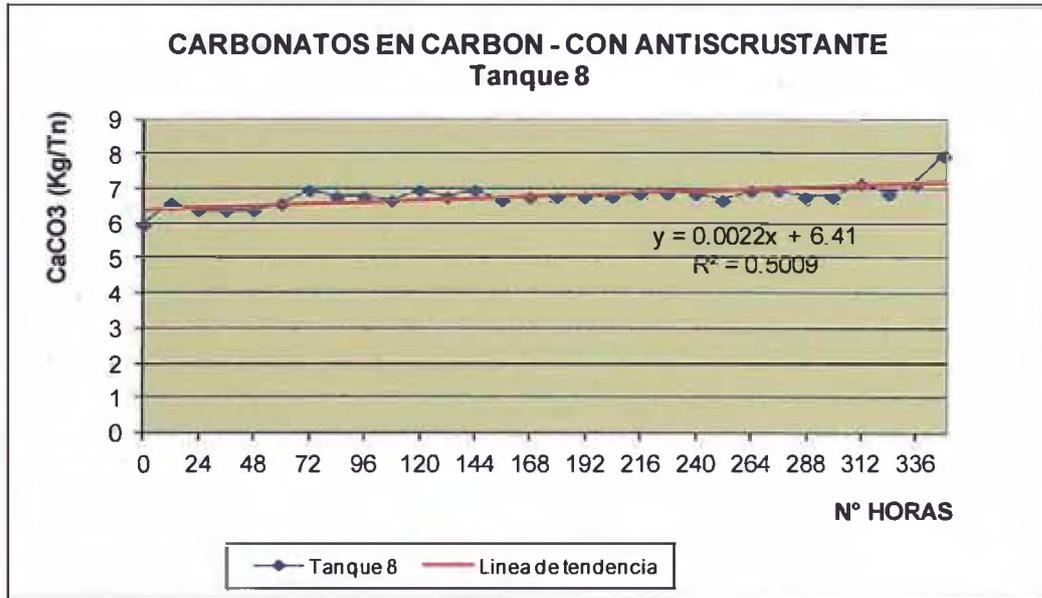
**Figura N° 33-** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 6 con el uso de anticrustante.

**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 6 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



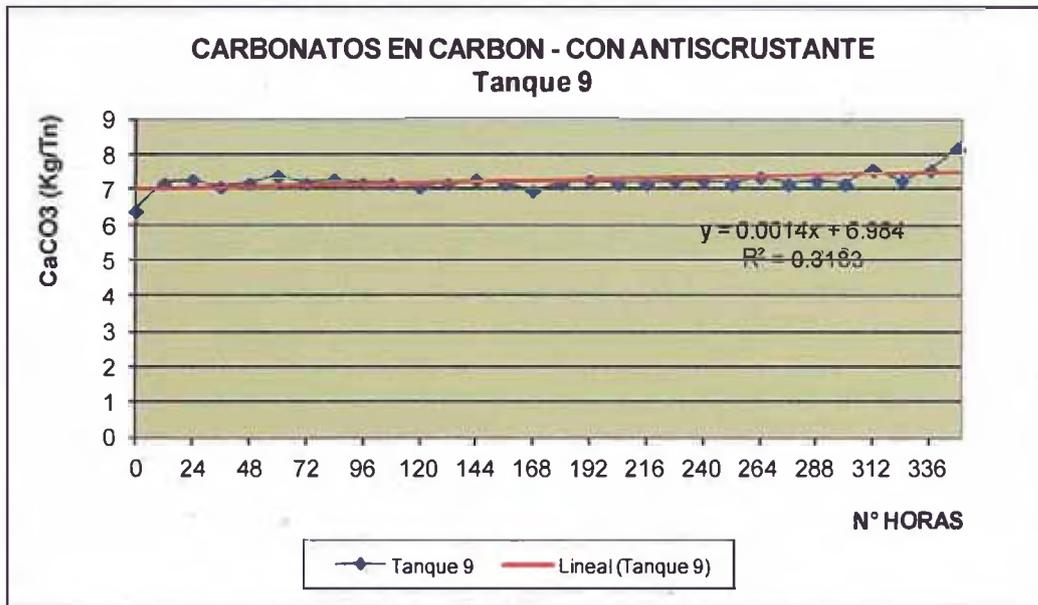
**Figura N° 34.** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 7 con el uso de anticrustante.

**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 7 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



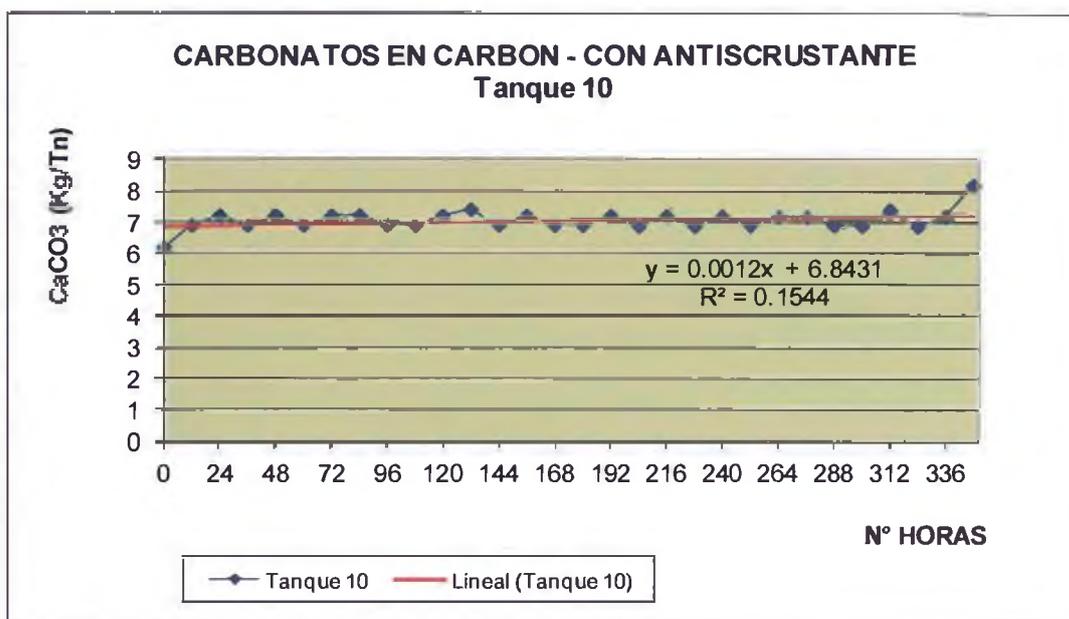
**Figura N° 35.-** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 8 con el uso de antincrustante.

**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 8 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



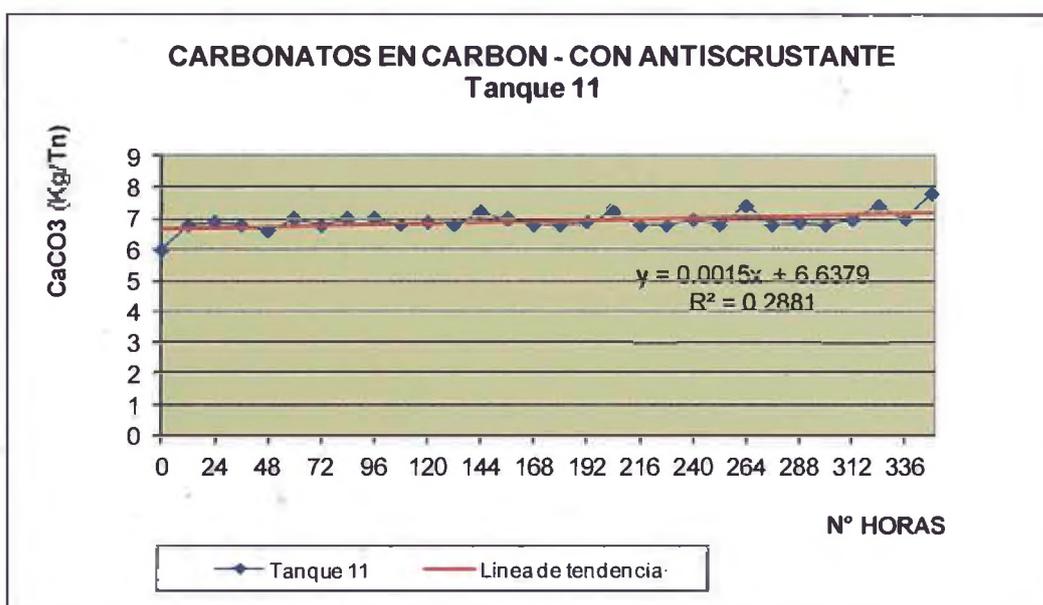
**Figura N° 36.** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 9 con el uso de antincrustante.

La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 9 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



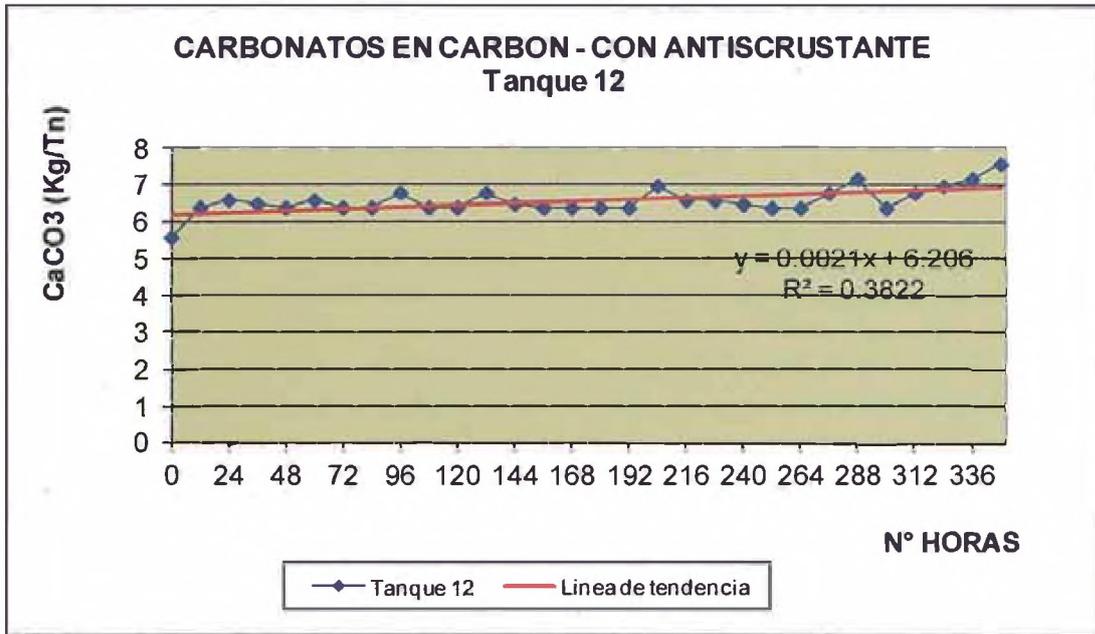
**Figura N° 37.-** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 10 con el uso de antincrustante.

**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 10 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



**Figura N° 38.** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 11 con el uso de antincrustante.

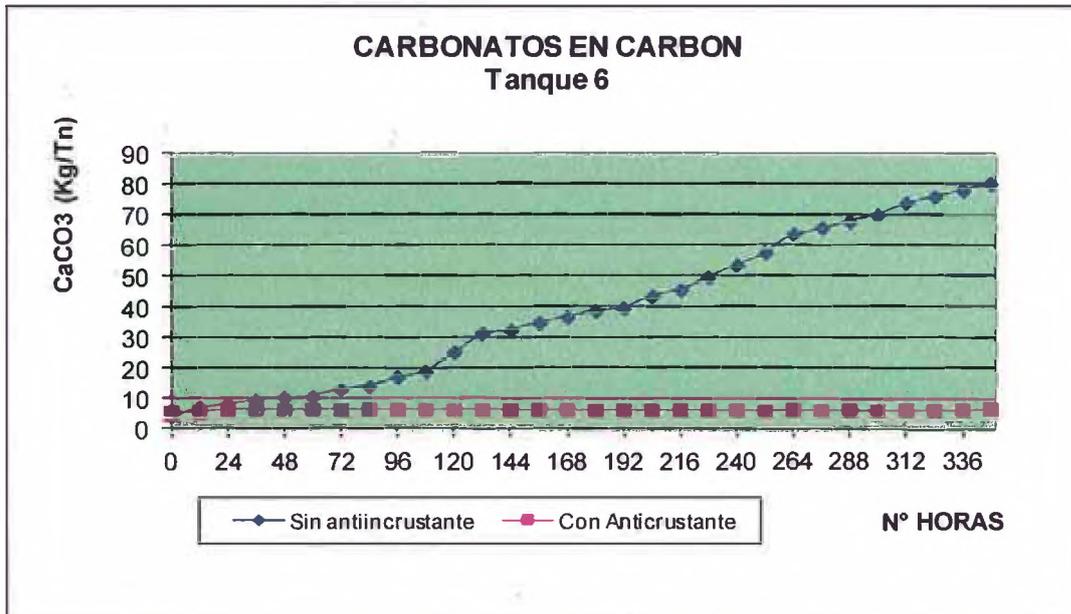
**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 11 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta y presenta una tendencia lineal.



**Figura N° 39.-** Variación de carbonatos en carbón activado en el tanque 12 con el uso de anticrustante.

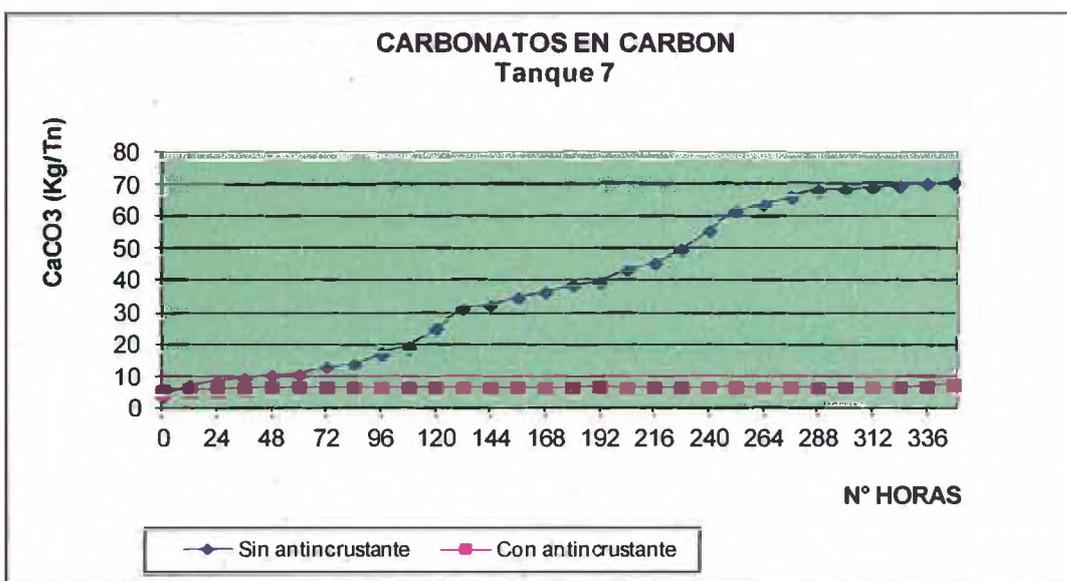
**Discusión.** La adsorción de carbonatos en el carbón del tanque 12 se mantiene casi constante conforme al incrementando del tiempo de operación en planta.

## 5.2.6 GRÁFICOS DE COMPARACIÓN SIN Y CON USO DE ANTINCRUSTANTES POR CADA TANQUE



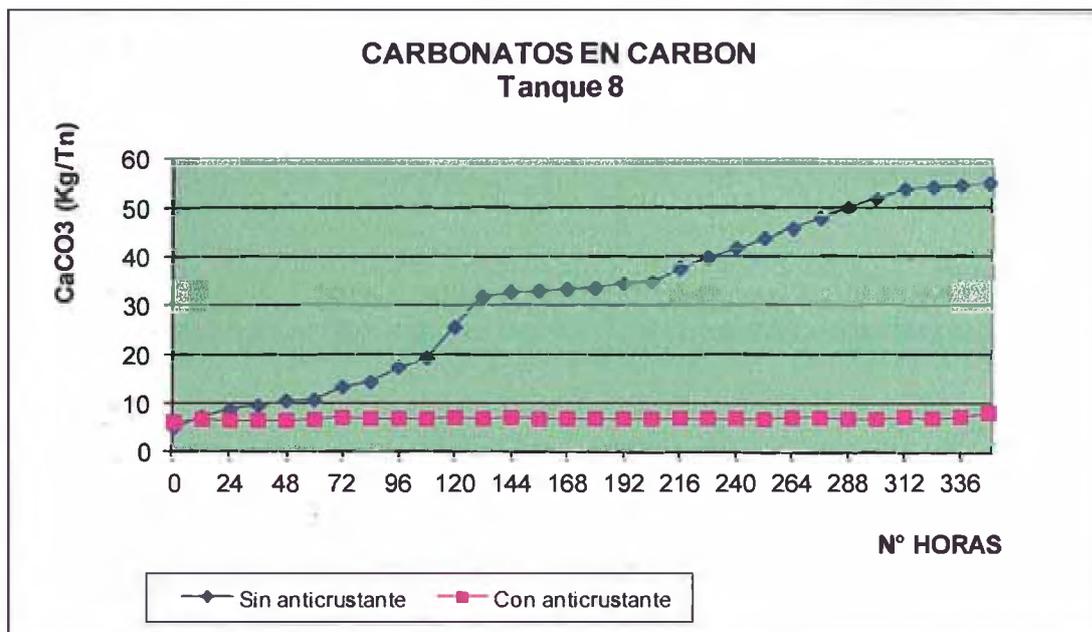
**Figura N° 40.** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 6.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, nótese que en este tanque la adsorción de carbonatos es máximo.



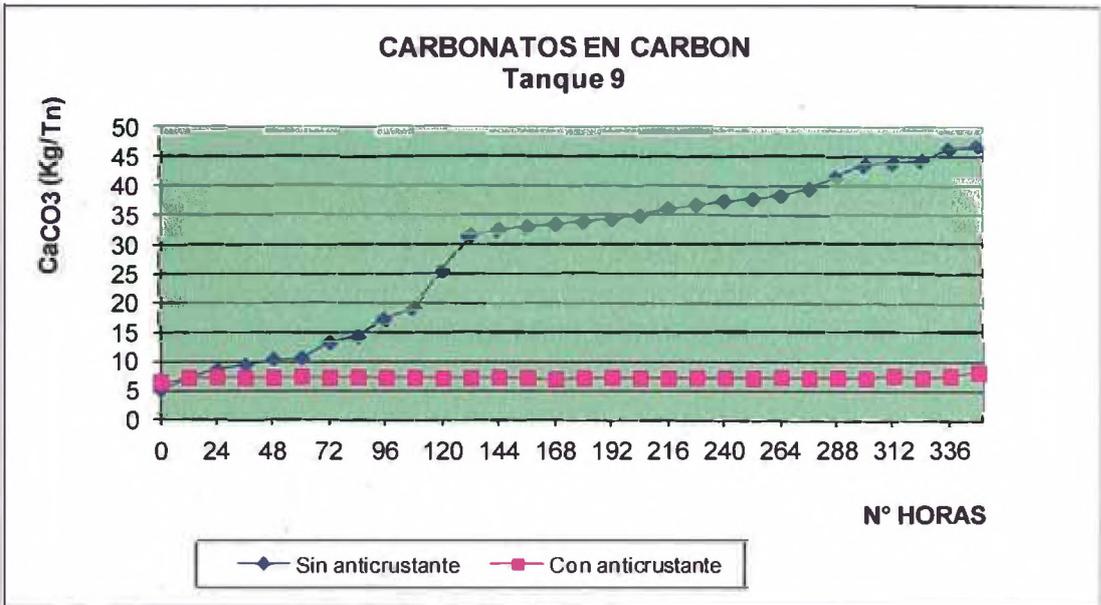
**Figura N° 41.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 7.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 70 Kg/Tn, que es menor que en tanque 6.



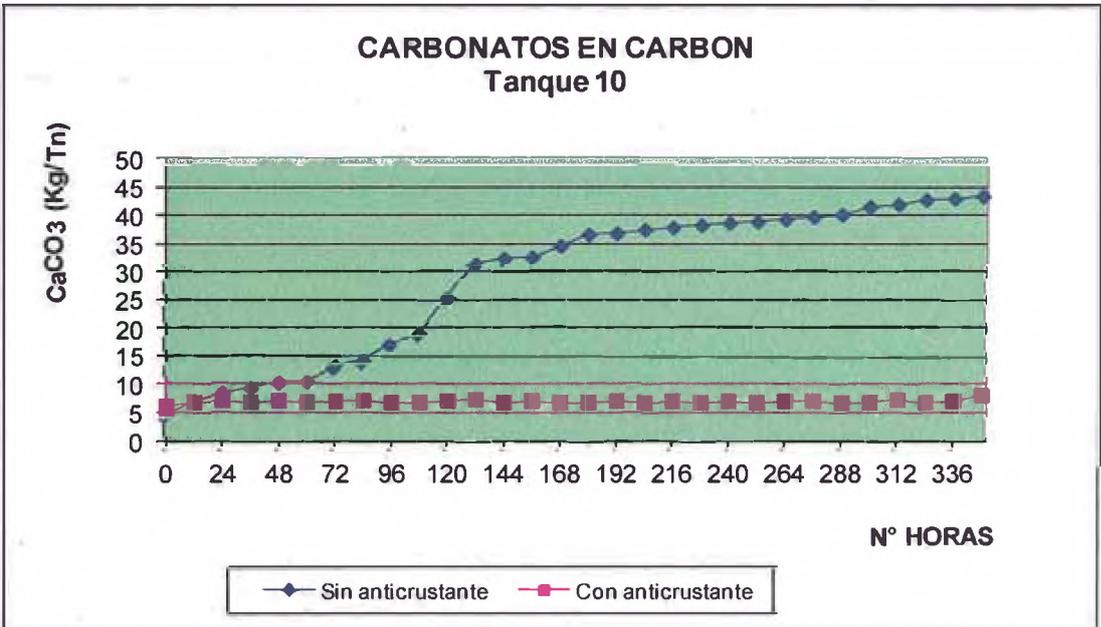
**Figura N° 42.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 8.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 55 Kg/Tn, que es menor que en tanque 7.



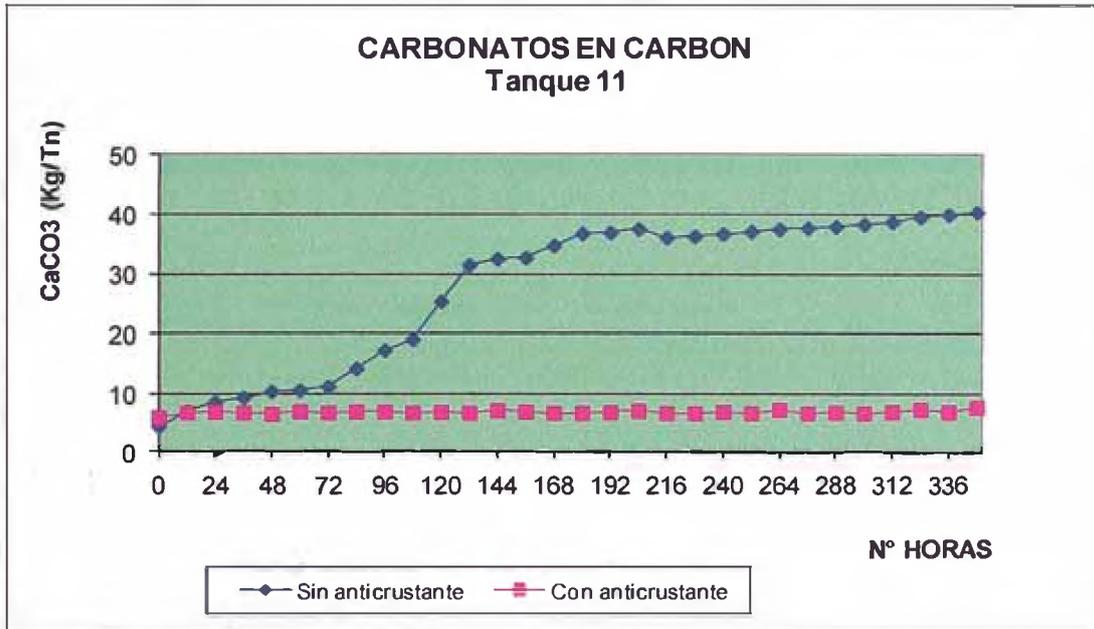
**Figura N° 43.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 9.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 48 Kg/Tn, que es menor que en tanque 8.



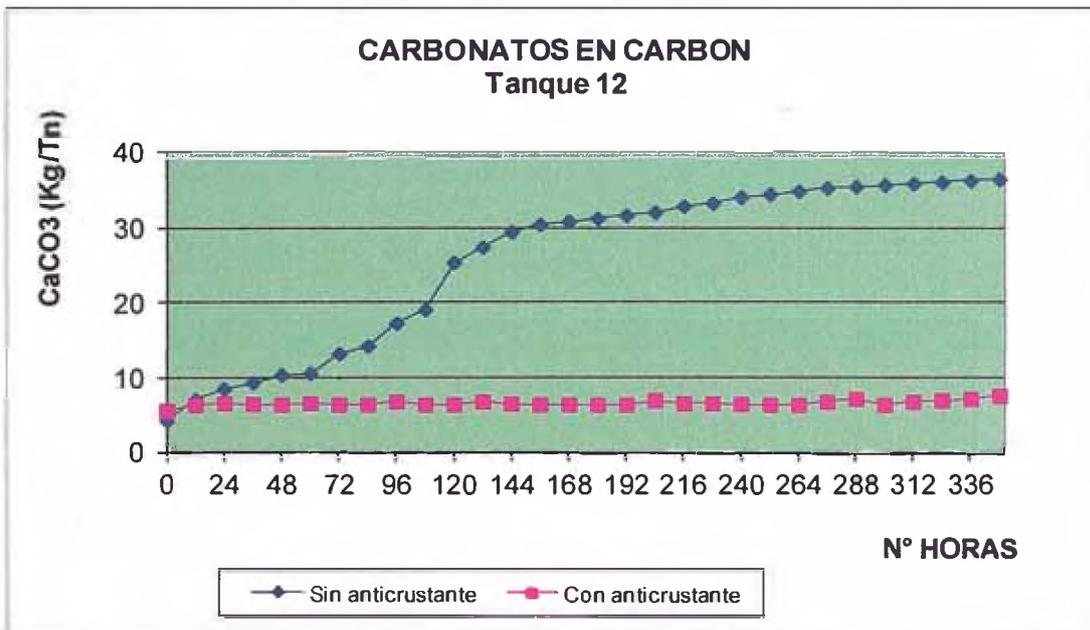
**Figura N° 44.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 10.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 44 Kg/Tn, que es menor que en tanque 9.



**Figura N° 45.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 11.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 40 Kg/Tn de CaCO<sub>3</sub>, que es menor que en tanque 10.



**Figura N° 46.-** Comparación de contenido de carbonatos en carbón activado con el uso y sin el uso de anticrustante en el tanque 12.

**Discusión.** Podemos observar que la cantidad de carbonatos que se absorben en el carbón activado, con la adición de anticrustante, es mínima con valores de 8 Kg/Tn y permanece casi constante conforme pasan las horas de operación, en comparación sin el uso de incrustantes que a medida que transcurren las horas de operación la absorción se va incrementando, la adsorción llega a valores de 35 Kg/Tn de CaCO<sub>3</sub>, que es menor que en tanque 11.

De estos gráficos se puede concluir que la absorción de carbonatos sin el uso de anticrustantes en los primeros tanques se producen la mayor cantidad de adsorción, disminuyendo progresivamente la adsorción hasta que en el último tanque esta adsorción es la menor. Mientras que con el uso de anticrustante la adsorción de carbonatos en el carbón es mínima permaneciendo casi constante conforme avanza el tiempo de adsorción tomando valores en el rango de 5 a 10 Kg/Tn.

Tabla N° 17. Balance Metalúrgico de Planta.

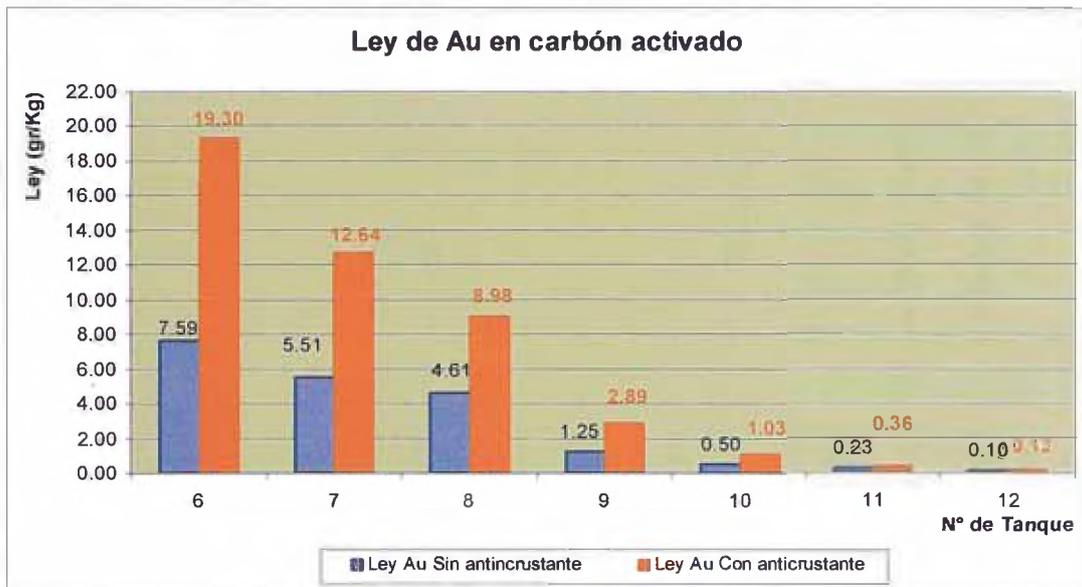
FECHA	TOTAL TMS	TACUM. TMS	PARAM. OPERACIÓN			LEYES					CONT. FINO			Recup. %	CONT. FINO DIA Grs Au	CONT. FINO ACUMULADO Grs Au	CONT. FINO RELAVE		
						O/F	%S	Dilución	FAJA		CABEZA		COLA				FAJA Grs Au	CABEZA Grs Au	COLA Grs Au
			Grs/Tms	Sólido	Líquido				Sólido	Líquido	Sólido	Líquido							
	105.000	105.000	1.40	45.38	1.204	12.50	6.95	12.63	0.94	0.025	1312.500	2325.410	101.860	92.24	1210.640	1210.64	98.700	3.160	
	97.000	202.000	1.40	45.38	1.204	12.50	7.10	15.13	0.95	0.029	1212.200	2454.684	95.478	92.12	1116.722	2327.36	92.150	3.328	
1-Nov	100.000	302.000	1.40	45.38	1.204	12.67	6.65	11.52	0.90	0.034	1266.500	2051.065	94.032	92.58	1172.468	3499.83	90.000	4.032	
	99.000	401.000	1.40	45.38	1.204	12.50	8.20	11.22	0.91	0.040	1237.500	2148.850	94.797	92.34	1142.703	4642.53	90.090	4.707	
	95.000	496.000	1.40	45.38	1.204	12.54	8.45	14.96	0.93	0.049	1191.500	2513.454	93.421	92.16	1098.079	5740.61	87.875	5.546	
6-Nov	100.000	596.000	1.40	45.38	1.204	12.65	5.50	13.65	0.94	0.061	1265.000	2192.454	101.343	91.99	1163.657	6904.27	94.000	7.343	
	95.000	691.000	1.40	45.38	1.204	12.55	5.35	12.05	0.99	0.025	1192.500	1886.190	96.909	91.87	1095.591	7999.86	94.050	2.859	
	99.000	790.000	1.40	45.38	1.204	12.55	5.45	10.79	1.00	0.022	1242.400	1825.358	101.622	91.82	1140.778	9140.64	99.000	2.622	
9-Nov	100.000	890.000	1.40	45.38	1.204	12.65	4.05	10.84	1.00	0.023	1265.000	1709.213	102.769	91.88	1162.231	10302.87	100.000	2.769	
	105.000	995.000	1.40	45.38	1.204	12.35	3.90	12.25	1.00	0.025	1297.000	1957.764	108.160	91.66	1188.840	11491.71	105.000	3.160	
14-Nov	100.000	1095.000	1.40	45.38	1.204	12.45	3.95	14.38	0.98	0.026	1245.000	2125.926	101.130	91.88	1143.870	12635.58	98.000	3.130	
	100.000	1195.000	1.40	45.38	1.204	12.45	3.90	15.26	0.95	0.029	1245.000	2226.852	98.431	92.09	1146.569	13782.15	95.000	3.431	
18-Nov	99.000	1294.000	1.40	45.38	1.204	12.65	4.85	16.07	0.96	0.030	1252.500	2395.158	98.615	92.13	1153.885	14936.04	95.040	3.575	
	100.000	1394.000	1.40	45.38	1.204	12.40	4.45	11.26	0.97	0.035	1240.000	1800.370	101.213	91.84	1138.787	16074.82	97.000	4.213	
22-Nov	95.000	1489.000	1.40	45.38	1.204	12.49	5.35	13.26	0.96	0.033	1186.500	2023.984	94.974	92.00	1091.526	17166.35	91.200	3.774	
	102.000	1591.000	1.40	45.38	1.204	12.50	5.45	11.12	0.98	0.031	1275.000	1920.575	103.766	91.86	1171.234	18337.58	99.960	3.806	
24-Nov	100.000	1691.000	1.40	45.38	1.204	12.59	5.20	9.97	1.00	0.035	1259.200	1719.491	104.213	91.72	1154.987	19492.57	100.000	4.213	
28-Nov	100.000	1791.000	1.40	45.38	1.204	12.45	5.40	11.10	1.05	0.042	1245.000	1876.111	110.056	91.16	1134.944	20627.51	105.000	5.056	
	100.000	1891.000	1.40	45.38	1.204	12.71	4.85	11.10	1.05	0.051	1270.600	1820.509	111.139	91.25	1159.461	21786.98	105.000	6.139	
30-Nov	100.000	1991.000	1.40	45.38	1.204	12.55	3.95	10.12	1.06	0.056	1255.000	1613.148	112.741	91.02	1142.259	22929.23	106.000	6.741	
01-Nov	100.000	2091.000	1.40	45.38	1.204	12.45	5.90	10.17	1.03	0.065	1245.000	1814.167	110.824	91.10	1134.176	24063.41	103.000	7.824	
03-Nov	100.000	2191.000	1.40	45.38	1.204	12.60	6.25	6.89	1.10	0.076	1260.000	1454.352	119.148	90.54	1140.852	25204.26	110.000	9.148	
07-Nov	99.000	2290.000	1.40	45.38	1.204	12.45	2.60	12.17	0.90	0.017	1232.500	1707.063	91.126	92.61	1141.374	26345.64	89.100	2.026	
09-Nov	100.000	2390.000	1.40	45.38	1.204	12.65	2.45	8.72	0.90	0.017	1265.000	1294.630	92.046	92.72	1172.954	27518.59	90.000	2.046	
13-Nov	100.000	2490.000	1.40	45.38	1.204	12.65	3.90	12.46	0.85	0.017	1265.000	1889.213	87.046	93.12	1177.954	28696.54	85.000	2.046	
15-Nov	99.000	2589.000	1.40	45.38	1.204	12.55	3.40	13.38	0.95	0.019	1242.500	1931.050	96.255	92.25	1146.245	29842.79	94.050	2.205	
17-Nov	98.000	2687.000	1.40	45.38	1.204	12.60	5.90	10.62	0.98	0.022	1234.400	1830.967	98.086	92.05	1136.314	30979.10	95.550	2.536	
21-Nov	98.000	2785.000	1.40	45.38	1.204	12.65	5.15	11.01	0.97	0.032	1240.000	1803.472	98.286	92.07	1141.714	32120.82	94.570	3.716	
25-Nov	98.000	2883.000	1.40	45.38	1.204	12.55	4.15	8.34	0.97	0.040	1229.800	1389.921	99.779	91.89	1130.021	33250.84	95.060	4.719	
30-Nov	100.000	2983.000	1.40	45.38	1.204	12.45	4.85	9.02	0.95	0.062	1245.000	1570.139	102.463	91.77	1142.537	34393.38	95.000	7.463	
		<b>2983.000</b>	<b>1.40</b>	<b>45.38</b>	<b>1.204</b>	<b>12.54</b>	<b>5.12</b>	<b>11.71</b>	<b>0.97</b>	<b>0.04</b>	<b>37415.10</b>	<b>57271.54</b>	<b>3021.72</b>		<b>34393.376</b>		<b>2894.395</b>	<b>127.329</b>	

**Tabla N° 18. Balance de Oro en carbones sin el uso de anticrustantes.**

FECHA	Nro.TK	PESO CARBON ACTIVADO			LEY gr/Kg.		Au(fino)	Ag(fino)
		Humedo	% H	Seco(Kg)	Au	Ag		
Cosecha	6	1,310.350	38.020	812.155	7.594	2.750	6,167.505	2,233
	7	1,335.620	38.530	821.096	5.511	3.901	4,524.562	3,203
	8	1,300.450	38.320	802.118	4.606	4.675	3,694.553	3,750
	9	1,345.560	38.630	825.779	1.247	4.988	1,029.735	4,119
	10	1,325.420	38.770	811.555	0.498	5.179	404.154	4,203
	11	1,315.035	38.290	811.589	0.230	5.024	186.647	4,077
	12	1,320.050	38.420	812.887	0.102	4.968	82.914	4,038
<b>TOTAL</b>				<b>5,697</b>			<b>16,090</b>	<b>25,623</b>

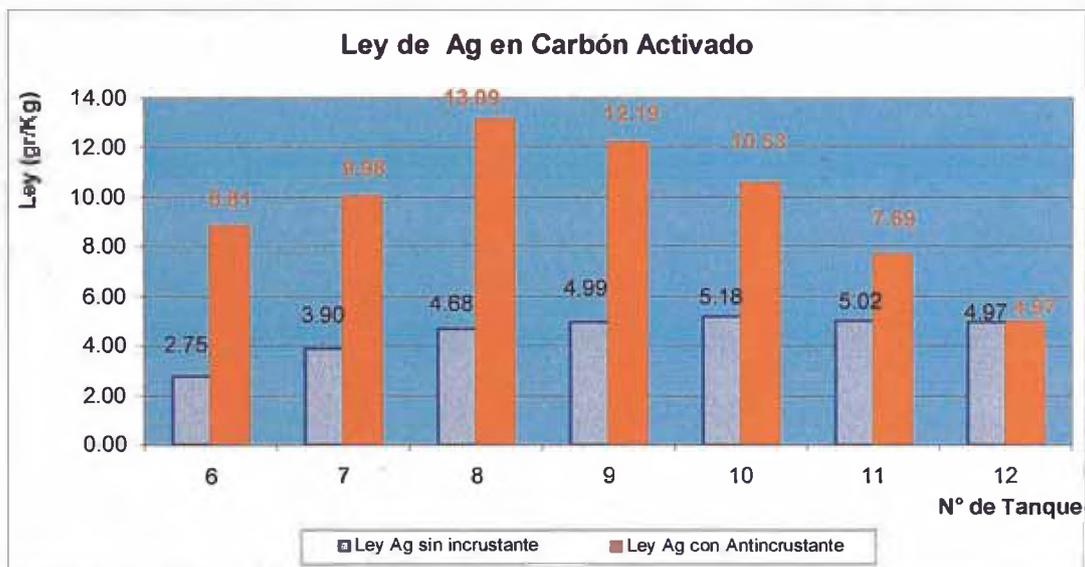
**Tabla N° 19. Balance de Oro en carbones con el uso de anticrustantes**

FECHA	Nro.TK	PESO CARBON ACTIVADO			LEY gr/Kg.		Au(fino)	Ag(fino)
		Humedo	% H	Seco	Au	Ag		
Cosecha	6	673.100	39.320	418.437	19.303	8.813	7,884.061	3,600
	7	673.350	40.600	399.970	12.644	9.979	5,057.219	3,991
	8	551.300	38.920	336.734	8.978	13.085	3,023.198	4,406
	9	582.400	38.150	360.214	2.888	12.187	1,040.299	4,390
	10	585.300	38.380	360.662	1.026	10.533	370.039	3,799
	11	623.700	38.870	381.268	0.359	7.685	136.875	2,930
	12	612.850	39.780	359.058	0.132	4.968	48.716	1,833
<b>TOTAL</b>				<b>2,616</b>			<b>17,560</b>	<b>24,949</b>



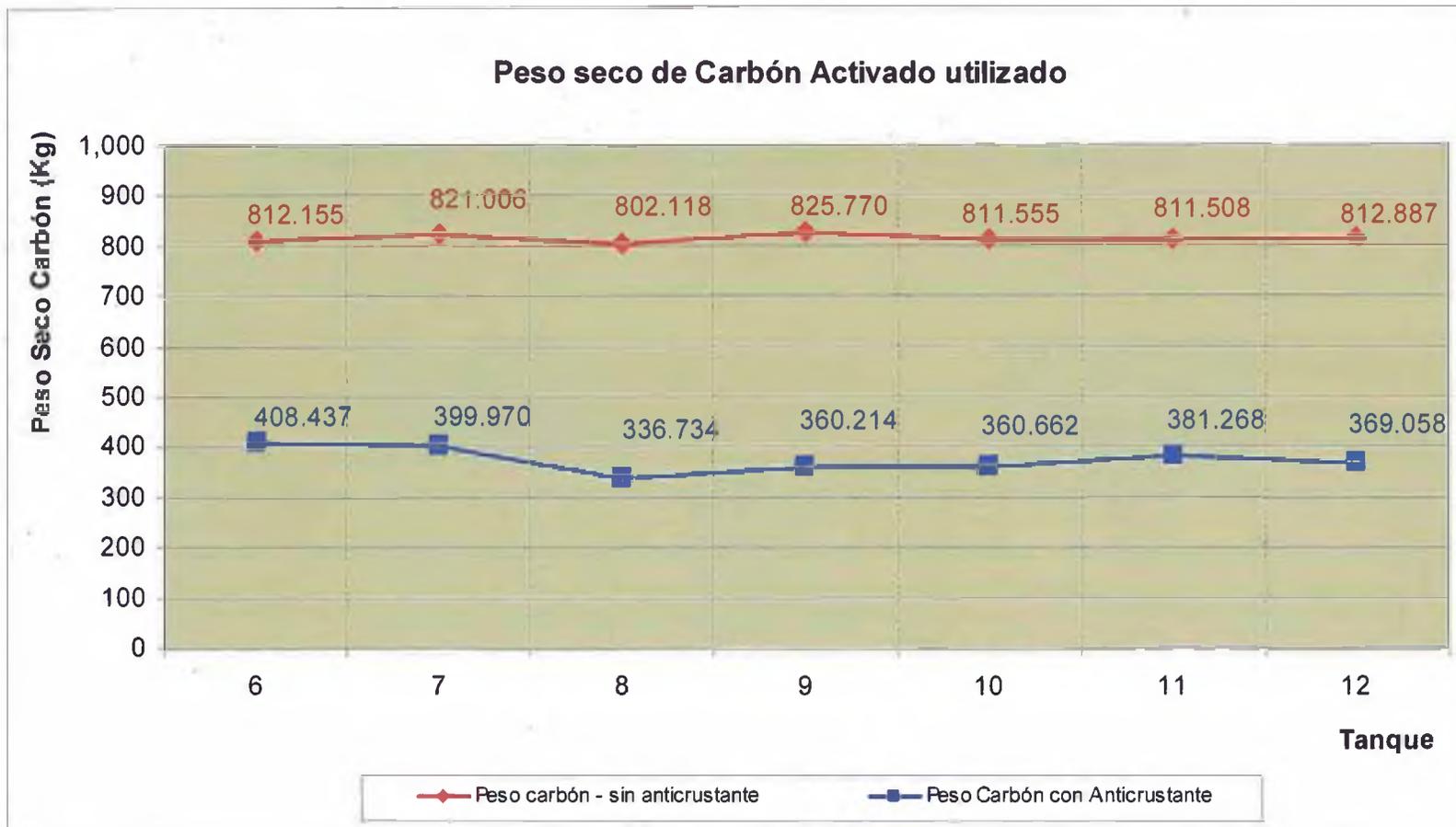
**Figura N° 47.-** Variación de la ley de oro en carbonos en cada tanque

**Discusión.** Podemos observar que las leyes en oro son mayores con el uso de anticrustante



**Figura N° 48.-** Variación de la ley de plata en carbonos en cada tanque

**Discusión.** Podemos observar que las leyes en plata también son mayores con el uso de anticrustante



**Figura N° 49.-** Diferencia de la demanda de carbón activado utilizado por tanque (sin el uso y con el uso de anticrustante).

**Discusión.** Podemos observar que se necesitan mayor demanda de carbón activado cuando no se usa anticrustante

**Tabla N° 20.-** Incremento de la eficiencia de adsorción del carbón activado por tanque (con el uso de anticrustante).

Nro.TK	PRUEBA EN BLANCO (gr Au/ton carbon)	Ton.Carbon/TK	LEY PROMEDIO	CON ANTICRUSTANTE	Ton.Carbon/TK	LEY PROMEDIO	Incremento de la eficiencia de adsorción del carbon activado usando anticrustante (%)
			CARBON TOTAL(Kg/ton)	(gr Au/ton carbon)		CARBON TOTAL(Kg/ton)	
6	7.594	0.812	1.083	19.303	0.408	2.903	62.694
7	5.511	0.821	0.795	12.644	0.399	1.860	57.268
8	4.606	0.802	0.649	8.978	0.436	1.443	55.036
9	1.247	0.825	0.181	2.888	0.360	0.383	52.853
10	0.498	0.811	0.071	1.026	0.360	0.136	47.901
11	0.230	0.811	0.033	0.359	0.381	0.050	35.023
12	0.102	0.812	0.015	0.132	0.369	0.018	18.981
<b>TOTAL</b>		<b>5.694</b>	<b>2.82</b>		<b>2.713</b>	<b>6.793</b>	<b>58.410</b>
<b>USO DE CARBON /MES</b>		<b>11.388</b>			<b>5.426</b>		
<b>AHORRO DE CARBON /MES</b>			<b>6.0 Ton</b>				



Figura N° 50.- Incremento de la eficiencia de adsorción del carbón activado usando antincrustante

**Tabla N° 21.** Cantidad de carbonatos depositados por campaña (15 días) sin el uso de anticrustante

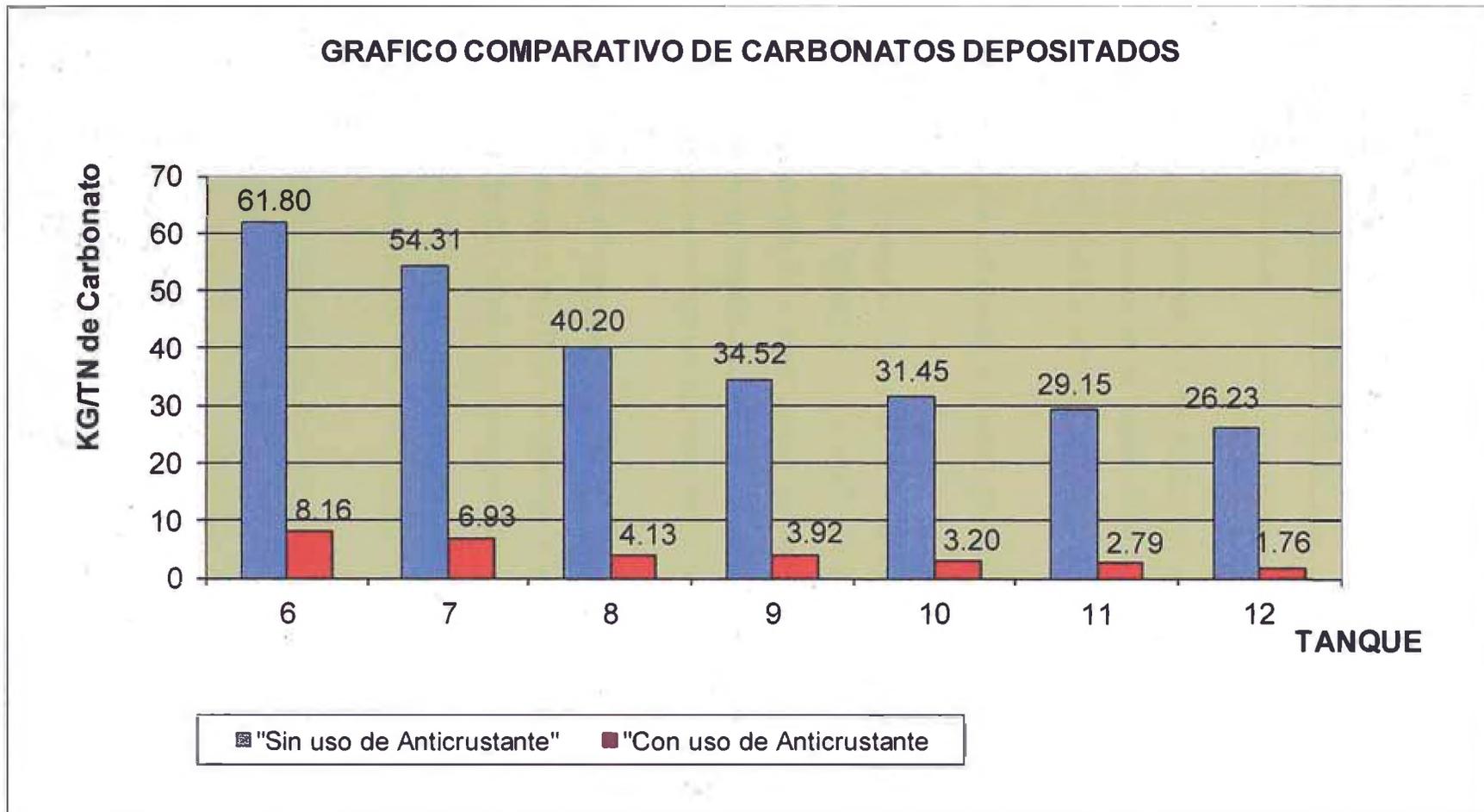
Hro. TAHQUE	Inicio de campaña	Final de campaña	Incremento	Carbon adicionado por Tk	Carbonatos depositados por Tk
	Carbonatos(kg/ton)	Carbonatos(kg/ton)	(kg/ton)	(Kg)	(kg)
6	4.06	80.15	76.09	812.155	61.799
7	4.26	70.41	66.15	821.006	54.309
8	4.87	54.99	50.12	802.118	40.202
9	5.07	46.87	41.80	825.770	34.517
10	4.67	43.42	38.76	811.555	31.453
11	4.46	40.36	35.92	811.508	29.146
12	4.26	36.52	32.26	812.887	26.226
<b>TOTAL</b>	<b>31.654</b>	<b>372.752</b>	<b>341.097</b>	<b>5696.998</b>	<b>277.652</b>

Discusión. Hay mayor adsorción de carbonatos sin el uso del anticrustante.

**Tabla N° 22.** Cantidad de carbonatos depositados por campaña (15 días) con el uso de anticrustante.

Hro. TAHQUE	Inicio de campaña	Final de campaña	Incremento	Carbon adicionado por Tk	Carbonatos depositados por Tk
	Carbonatos(kg/ton)	Carbonatos(kg/ton)	(kg/ton)	(Kg)	(kg)
TK6	4.61	24.59	19.98	408.437	8.160
TK7	4.78	22.11	17.33	399.970	6.932
TK8	5.12	17.39	12.26	336.734	4.129
TK9	5.46	16.34	10.87	360.214	3.916
TK10	5.12	14.00	8.88	360.662	3.202
TK11	5.12	12.43	7.31	381.268	2.786
TK12	4.78	9.56	4.78	369.058	1.765
<b>TOTAL</b>	<b>35.005</b>	<b>116.418</b>	<b>81.413</b>	<b>2616.343</b>	<b>30.891</b>

Discusión. Hay menor adsorción de carbonatos con el uso del anticrustante.



**Figura N° 51.** Grafico comparativo de carbonatos depositados por tanques.

**Discusión.** Podemos observar que hay mayor absorción de carbonatos cuando no se usa anticrustante, con respecto al uso de anticrustante.

**Tabla N° 23. - Balance de carbonatos.**

	(Kg/ton)	Carbonatos Totales Incrustados(Kg)
CARBONATOS INCRUSTADOS(PRUEBA EN BLANCO)	277.652	1943.230
CARBONATOS INCRUSTADOS( USO DE ANTINCRUSTANTE)	30.891	213.004
CARBONATOS TOTALES NO INCRUSTADOS	246.762	1730.226
% INHIBICION		89

Discusión. El porcentaje de inhibición al incrustamiento en las pruebas realizadas en planta llega hasta el 89 %, siendo este porcentaje un valor considerable que justifica el uso continuo de este producto químico.

## **5.2.7 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL**

Es necesario implementar planes ambientales en la zona: en tal sentido MINERA COLIBRÍ SAC deberá establecer políticas y acciones de conservación del medio ambiente como mayor interés para la operación de la Planta de Beneficio. A continuación se expone el Plan de Manejo Ambiental para la empresa:

### **5.2.7.1 Objetivo**

El objetivo del Plan de Manejo Ambiental está orientado a prevenir, controlar, atenuar y compensar los probables impactos ambientales que podrían ser ocasionados por las actividades que se desarrollan en la planta de beneficio "DOBLE D".

### **5.2.7.2 Estrategia del Plan:**

El Plan de Manejo Ambiental se encuentra dentro de una estrategia de conservación del medio ambiente en armonía con el desarrollo socioeconómico.

Para lograr llevar adelante el Plan de Manejo Ambiental se ha considerado necesario implementar las siguientes acciones:

### **5.2.7.3 Responsable del Manejo Ambiental**

El Jefe de programa de Seguridad será también el encargado de implementar las medidas de control y mitigación de impactos, ejecutar el plan de Monitoreo Ambiental, El Plan de Abandono y Rehabilitación y estar preparado para poner en marcha el Plan de Contingencias.

### **5.2.7.4 Plan de Medidas de Control y Mitigación**

Está constituido por la puesta en acción de las medidas de mitigación y/o control en:

- El ambiente físico

- El ambiente biológico

- El ambiente socioeconómico

- El ambiente de interés humano

Se elaborará un cronograma para su aplicación

### **5.2.7.5 Inspecciones ambientales y evaluación**

Se efectuará con la finalidad de controlar y evaluar el grado de cumplimiento de las medidas sugeridas para mitigar los efectos generados por las operaciones.

Se realizarán inspecciones de control ambiental, para tal efecto se coordinará previamente con la entidad auditora-inspectora, informándole detalladamente sobre el cumplimiento de las medidas y al mismo tiempo las recomendaciones necesarias para mitigar los posibles daños ambientales.

### **5.2.7.6 Plan de Monitoreo Ambiental**

El Plan de Monitoreo Ambiental estará abocado a controlar los parámetros más importantes que se consideran que serán afectados por las operaciones de la Planta de Beneficio "DOBLE D". En este sentido, se considera realizar el seguimiento y control de la calidad del agua y aire.

Si bien es cierto que las operaciones de la empresa Minera Colibrí SAC no generarán efluentes minero-metalúrgicos, es importante un Programa de Monitoreo como un instrumento indispensable para llevar a cabo la implementación de las medidas de mitigación y control que se han planteado.

### **Calidad de Agua**

Se prevé realizar la toma de muestras de manera semestral, en los siguientes puntos:

- a) Agua de consumo humano, en el punto de bombeo de agua del pozo artesanal, para vigilar las variaciones de la calidad del acuífero.

Elaborar un Programa de vigilancia de calidad del agua para consumo humano, evaluando el cianuro (CN); evaluación bacteriológica por coniformes totales y fecales.

- b) Agua de decantación de la cancha de relaves que será recirculada, a fin de vigilar la cantidad de contaminantes que podría infiltrarse en el caso de derrames.
- c) El agua del pozo séptico, para vigilar que no haya contaminación del acuífero.

Teniendo en cuenta los aspectos antes indicados se ha visto por conveniente de elegir los siguientes puntos de monitoreo.

**Tabla N° 24. - Ubicación de puntos de monitoreo.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>Ubicación de la Estación de Monitoreo</b>	<b>N° de la Estación</b>
Agua decantada que será recirculada	Poza de recirculación	S-1
Agua del pozo artesanal	Reservorio de captación de agua antes entrar a la Planta	S-2
Agua de uso doméstico	Grifo cocina - comedor	S-3
Agua del Reservorio Principal	Reservorio principal de agua	S-4
Agua pozo de control de infiltración en la cancha de relaves	Al pie del talud del depósito de relaves	S-5
Agua para consumo campamento	Después de entrar a la cisterna N° 2	S-6
Tanque séptico N° 1	Antes de entrar al tanque séptico N° 1	S-7
Tanque séptico N° 2	Antes de entrar al tanque séptico N° 2	S-8

**Tabla N° 25. - Ubicación de las estaciones de monitoreo.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</b>	
	<b>N</b>	<b>E</b>
Agua del pozo artesanal	8'261,688.80	624,508.60
Agua decantada que será recirculada	8'261,960.50	624,042.94
Agua del Reservorio Principal	8'261,963.00	624,688.00
Agua de uso doméstico grifo cocina-comedor	8'262,010.00	624,651.00
Pozo de control de agua de infiltración	8'261,960.50	624,042.94
Agua para consumo campamento	8'261,917.00	624,560.00
Tanque séptico N° 1	8'261,963.00	624,688.00
Tanque séptico N° 2	8'262,045.00	624,641.30

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Según los resultados de pruebas a nivel de laboratorio (Figura 15) se determinó que los mayores porcentajes de inhibición a la incrustación se alcanza a partir de la adición de 1.5 ppm del antincrustante Lupromin L200, alcanzando su punto máximo a 2 ppm.
- En las pruebas Bach realizadas en el laboratorio metalúrgico se determinó que el mayor porcentaje de inhibición al incrustamiento de carbonatos fue de 92.08% (Tabla N° 13), mientras que las pruebas realizadas a nivel de planta alcanzó un valor de 89% (Tabla N°20) con lo que se demostró la eficiencia del reactivo usado.
- La aplicación del antincrustante Lupromin L200 debe ser en el Over Flow de la última clasificación (en la malla estática) antes de ingresar al primer tanque de cianuración.
- Podemos observar que se ha disminuido significativamente la demanda de carbón de 11.388 Ton/mes a 5.426 Ton/mes. Esto significa un ahorro de 6 Ton/mes que equivale a 7800 \$/mes.
- De forma similar ha disminuido los costos de operación en la planta de Desorción en 4769.6 \$/mes debido a que con el uso de antincrustantes se realiza menos cantidad de desorciones por mes. Siendo el ahorro total en adsorción y desorción de 7800 + 4769 igual a 12,569 dólares americanos.
- Se recomienda evaluar el comportamiento del antincrustante en la planta de desorción así como en el proceso de reactivación química del carbón (lavado ácido).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAST, J. *“Carbon Stripping The Practical Alternatives”* Denver Minerals Engineer. Reno Nevada. 1989.
  
- [2] DIAS H., AGUAYO S. *“Fundamentos de Carbón Activado”*. Primera Edición, Universidad de Sonora 1999, Pag 3-17.
  
- [3] FAILON B. *“Scale Detection and Control During Mineral Beneficiation”*. Nalco Chemical, American Institute of Mining Engineers Annual Meeting, Denver-USA.
  
- [4] ROE J. *“Scale Formation and Inhibition: Practical Applications in Precious Metals Circuits”*, Nalco Chemical, Forum 85 Gold & Silver Recovery, Santa Fe, New Mexico, 1985.
  
- [5] NALCO CHEMICAL COMPANY, *“Mineral And Mineral Processing Manual”*, Mill Water Stabilization – Section 8.6.2 (Pag. 1-5).
  
- [6] NALCO CHEMICAL COMPANY, *“Generación de Vapor”*, Manual Técnico Generación de Vapor, Sección 2, 8, 1 (Pag. 1)
  
- [7] DOMIC MIHOVILOVIC, Esteban *“Hidrometalurgia – Fundamentos, Procesos y Aplicaciones”* Primera Edición, Editorial Andros Impresores Ltda.. 2001.
  
- [8] MINERA YANACOCHA, *“Procedimientos de Plantas de Carbón, 2003”* Cajamarca.