Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

Comportamiento de la planta Espesadores de Pulpa en la empresa Pedro Sotto Alba, a partir de la adición de sulfato de hierro Heptahidratado.

Yoel Borges Durán

Moa

19/11/2008

Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

Comportamiento de la planta Espesadores de Pulpa en la empresa Pedro Sotto Alba, a partir de la adición de sulfato de hierro Heptahidratado.

Diplomante: Yoel Borges Durán *Firma: _____*

Tutores Técnicos: Ing. Luis. E González Driggs *Firma: _____*

Ing. Daniel Sánchez Jaca *Firma: _____*

Tutor Metodológico Dr. C., Prof. Tit: Armín Mariño Pérez *Firma: _____*

Moa

19/11/2008

Pensamiento.

"En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más y que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana"

Che

Agradecimientos

A la Revolución Cubana por haberme dado la oportunidad de realizarme como profesional en el mundo de las ciencias.

A los que me brindaron su mano amiga cuando lo necesitaba.

A los amigos de las empresas, Luis Enrique, Carlos, Niurkis, Yarelis, y demás que con su ayuda hicieron posible la realización de este sueño.

A todos y cada uno de ellos le estoy

ETERNAMENTE AGRADECIDO.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, sobre todo a mis padres, por la confianza y apoyo, a mi novia, por haber estado en los momentos difíciles, y a los amigos que me han apoyado durante todo este tiempo.

Resumen

Se estudia el comportamiento de la planta Espesadores de Pulpa en la empresa Pedro Sotto Alba, a partir de la adición de sulfato de hierro heptahidratado (Tecnología CIPIMM). Para ello se tomaron datos de los reportes de producción diario y se estableció una comparación entre diferentes parámetros tales como: concentración de sólido, viscosidad de la pulpa, productividad de los espesadores y velocidad de corrosión; antes y después de la adición del aditivo. Se obtuvo como resultado que la introducción de la tecnología del CIPIMM, ha incrementado la capacidad de compactación de sedimento, y por tanto ha incrementado la productividad volumétrica de los espesadores sin sacrificar la concentración de sólido en la descarga, ha disminuido la viscosidad de la pulpa y ha acelerado la velocidad de corrosión, posiblemente a causa del deficiente control del pH.

Palabras Clave: Aditivo, Tecnología CIPIMM, Espesador, Productividad, Corrosión.

Abstract

It is studied of Espesadores of plant of Pulp in Pedro Sotto Alba of company of behavior of high rail, a to leave of the addition of sulfate of iron (Technology CIPIMM) heptahidratado. For they took it data of the reports of production newspaper and a comparison settled down among such different parameters as: solid concentration, viscosity of the pulp, productivity of the espesadores and speed of corrosion; before and after the addition of the preservative. It was obtained as a result that the introduction of CIPIMM of technology supr, ah! the capacity had increased of silt compactación, so much of for of and ah the productivity of having increased volumetric of the concentration of sacrificing of espesadores sin of those of the discharge of in of solid, ah the viscosity of having diminished of the and of pulp ah! the speed of quick of corrosion, possibly a pH of control supr of faulty of cause supr.

Nail: Preservative of Words, Technology CIPIMM, Espesador, Productivity, Corrosion.

Índice

INTRODUCCIÓN……. 1

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN……. 4

1.1 Pruebas de Corrosión CIPIMM……... 6

1.2 Pruebas de Viscosidad CIPIMM…… 6

Conclusiones……. 10

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS…….. 11

2.1 Descripción del proceso de preparación del aditivo…… 11

2.2 Obtención de las muestras de trabajo y diseño experimental……. 13

2.2.1 Obtención de las muestras para determinar la variación del pH……. 13

2.2.2 Toma de muestra para determinar la posición eficiente del electrodo de medir pH en el espesador…… 19

2.2.3 Pruebas para determinar la influencia del aditivo sobre la velocidad de corrosión en los espesadores……. 20

2.2.4 Incidencias en la productividad de la planta……. 22

Conclusiones………. 23

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS…… 24

3.1 Resultado de los cálculos estadísticos…… 24

3.1.2 Resultado de la posición del electrodo de medir pH…… 25

3.1.3 Resultados de las pruebas de corrosión…… 26

3.1.4 Resultados del estudio de productividad de los espesadores…… 28

Resumen……….. 34

Conclusiones…… 35

Recomendaciones…… 36

Referencias..... 37

Anexos…….. 38

INTRODUCCIÓN

La industria minera, situada al este de la provincia realiza un aporte importante a la economía nacional, a través de la producción y comercialización del Níquel + Cobalto. Debido a sus diferentes aplicaciones económicas, y por ser un rubro de exportación, es de los sectores que más tributa a la economía holguinera, con una participación de un 64%, en la producción bruta de la misma, las plantas procesadoras de esta región son las mayores plantas minero metalúrgicas del país. Desde 1994 la producción y comercialización del níquel y cobalto la opera la empresa Moa Nickel S.A, creada a partir del convenio entre la Compañía General de Níquel S.A de Cuba y la Sherrit Canadiense, a través de tres corporaciones. Como resultado del convenio se han obtenido producciones históricas.

En la tecnología ácida a presión para la extracción de Ni y Co a partir de minerales lateríticos, se opera con pulpa cruda que es enviada desde planta de Preparación de Pulpa con una concentración de sólidos de 20 - 25 %. La pulpa espesada alcanza una concentración de sólidos entre 45 - 48 % a la salida de los espesadores convencionales. Se ha demostrado que un aumento de productividad de la planta (sedimentadores) por encima del diseño de construcción produce una caída en la concentración de sólidos de la pulpa espesada (flujo de fondo).

En los últimos años, dado el empeoramiento de las características de sedimentación del mineral, la concentración de sólidos ha disminuido de forma gradual, hasta el rango de 42 y 44% de sólidos como promedio, por lo que ha disminuido la productividad de diseño de la planta Espesadores.

Con vista a solucionar estas afectaciones y obtener mayores volúmenes de producción, en Abril de 2006 se implementó la adición de sulfato de hierro heptahidratado ($FeSO_4$ $7H_2O$), a uno de los espesadores, y por los buenos resultados obtenidos en Noviembre de ese mismo año se comenzó la adición de aditivo al resto de los espesadores. Este aditivo actúa como depresor incrementando la capacidad de compactación del sedimento y disminuyendo la viscosidad de la pulpa.

Estas pulpas se precalientan con vapor y se alimentan a las autoclaves. Un incremento de la concentración de sólidos dentro de las autoclaves representa un aumento de la producción de níquel y cobalto, una disminución del consumo de

vapor para el precalentamiento de la pulpa y una reducción ligera del consumo de ácido sulfúrico y agua.

En general, estas condiciones de (mayor concentración de sólidos y productividad) representan una disminución del costo de operación de la planta, todo lo cual evidencia la importancia de lograr un aumento de la concentración de sólidos y productividad de las pulpas en cuestión.

Según pruebas realizadas por el CIPIMM con la adición de sulfato de hierro heptahidratado se debe mejorar la productividad de la planta de espesadores y con esto de la fábrica, sin embargo no se sabe cuales serán las consecuencias sobre otros indicadores operacionales.

Por lo que se plantea el siguiente **Problema**:

No se conoce la influencia real del Sulfato de Hierro Heptahidratado sobre la concentración de sólidos, viscosidad, productividad de la planta y la velocidad de corrosión de los elementos metálicos en los espesadores convencionales en el nivel industrial.

Para resolver el problema se plantea el siguiente **Objetivo:** Determinar el comportamiento de los parámetros operacionales y de mantenimiento en la planta Espesadores de Pulpa a partir de la adición de sulfato de hierro heptahidratado.

Se plantea la siguiente **Hipótesis:** La comparación entre el comportamiento antes y después de la adición de sulfato de hierro heptahidratado a los espesadores; permitirá conocer su influencia sobre la concentración de sólidos, viscosidad, productividad, y la velocidad de corrosión en los elementos metálicos de los espesadores.

Para cumplir los objetivos y darle solución al problema se trazan las siguientes **Tareas:**

1. Sistematizar los antecedentes y el estado actual de la temática.
2. Determinación estadística de las diferencias entre las lecturas del pH en los equipos.
3. Determinación de la posición eficiente del electrodo de medir pH.
4. Determinación de la influencia del aditivo en la velocidad de corrosión de los elementos metálicos del los espesadores antes y después de la adición de aditivo.
5. Determinación de la productividad de la planta y la empresa antes y después de la adición del aditivo.

CAPÍTULO 1

Antecedentes y estado actual de la investigación.

La sedimentación de la pulpa cruda de los minerales lateríticos de Moa es un tema ampliamente estudiado por investigadores como Falcón (1983,1997), Beyris (1996, 1997). Varias son las fuentes que señalan los cambios en la composición química y/o mineralógica como causa fundamental de las variaciones en las características de sedimentación de esta pulpa Rojas (1994); Almaguer (1996).

Una de las variantes para el mejoramiento de la sedimentación ha sido la utilización de aditivos. Los más estudiados son los polímeros floculantes. Estos productos incrementan significativamente la velocidad de sedimentación de las pulpas a través de la formación de flóculos de gran tamaño y masa. La limitación de este tipo de aditivos está en que los mismos no tienen un efecto similar en la velocidad de compactación. Los flóculos de gran tamaño dejan atrapadas entre si a las moléculas de agua haciendo mas lenta la etapa final de la sedimentación (compactación).

Otros productos utilizados están directamente relacionados con las propiedades de superficie de las partículas en cuestión. Los mismos han basado su aplicación en la búsqueda del potencial de equilibrio (potencial Z), punto donde se logra un incremento de la velocidad del fenómeno de sedimentación en su totalidad.

El CIPIMM (Centro de Investigaciones y Proyectos para la Industria Minero Metalúrgica) ha venido estudiando el efecto de algunos aditivos en la sedimentación de la pulpa cruda, así como los efectos del mismo sobre el equipamiento.

Algunas de las pruebas de aditivo que se realizaron estaban vinculadas con la utilización del licor de desecho WL aprovechando el carácter reductor del mismo para mejorar el espesamiento de la pulpa laterítica. Esta prueba de aditivo logra el aumento de la concentración de sólidos hasta un 3 %. Sin embargo, este procedimiento no permite recircular el reboso de los espesadores a la planta de preparación de pulpa de mineral crudo, debido a su relativamente alto contenido de Al, Mg, Mn y acidez, que lo hacen corrosivo.

Por otra parte su implementación es compleja, pues requiere de una instalación costosa y resistente al medio corrosivo (reactores, bombas, etc), para el mezclado

de la pulpa espesada y el licor WL (residual líquido fuertemente corrosivo), así como un sedimentador para recibir la pulpa tratada.

Algunos autores han intentado usar sales de hierro, aluminio y de sodio, entre otras para mejorar el espesamiento de las pulpas lateríticas, reportando resultados positivos en algunos casos y en otros negativos, sin lograr reproducir los mismos a nivel de planta piloto e industrial.

Luego de haber estudiado el efecto de varios aditivos, finalmente en el año 2004 el CIPIMM logra optimizar a escala de laboratorio la aplicación del sulfato de hierro heptahidratado. Las sales pueden estar en estado sólidos (sales comerciales), que en ese caso se disuelven en agua en medio ácido o se puede producir directamente a partir de residuos de la planta por lixiviación ácida.

En ese mismo año el CIPIMM (2004) comienza las pruebas piloto de espesamiento de pulpa cruda con ($FeSO_4$ $7H_2O$). Donde se llevaron a cabo pruebas de sedimentación, viscosidad, concentración de sólido, corrosión, precipitación, lixiviación entre otras.

En el 2005 se realizó un estudio mas profundo que confirmó que el aditivo disminuye la viscosidad de la pulpa haciéndola mas bombeable. Los resultados de las pruebas piloto fueron los siguientes:

Tabla #1. Influencia de la adición del aditivo en la concentración de sólido y capacidad.

			UF % Sólido			**Capacidad(t/d)**			
Prueba año	Sed mm/2hrs	Dosis Kg/t	Con Aditivo	Sin Aditivo	Dif %	Con Aditivo	Sin Aditivo	Dif%	% incr
2004	137	6,2	42,4	40,2	2,2	1905	1295	610	47,1
2005	149	6,0	49,5	40,2	9,3	2361	1701	660	38,8

En ambos períodos de pruebas piloto se llevaron a cabo otros estudios relacionados con los efectos secundarios del aditivo tanto en la propia planta de Espesadores de Pulpa como en el resto del proceso.

1.1 Pruebas de Corrosión CIPIMM.

Uno de los temas más sensibles fue el fenómeno de corrosión porque el aditivo presenta un marcado carácter ácido y disminuye el pH de la pulpa.

Para evaluar el efecto del aditivo desde el punto de vista corrosivo, se montaron testigos de corrosión en cada una de las pruebas. Se utilizaron testigos de acero al carbono instalados en el rebozo de los sedimentadores con y sin aditivo. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla #2. Influencia del aditivo sobre el pH y la velocidad de corrosión.

		pH		**Vc, mm/año**		
Prueba año	**Rec. del rebozo**	**Con aditivo**	**Sin aditivo**	**Con aditivo**	**Sin aditivo**	**T de prueba, hrs.**
2004	No	4,7	6,2	0,115	0,128	326
2005	Si	6,1	6,8	0,180	0,180	288

Como se observa se produce una ligera disminución de la velocidad de corrosión al utilizar el aditivo lo que indica que el mismo, en alguna medida, tiende a pasivar el acero.

1.2 Pruebas de Viscosidad CIPIMM.

Durante las corridas piloto se tomaron muestras para la determinación de la viscosidad (Yield Stress en viscosímetros de plato). En el año 2004 se tomaron muestras aleatorias en las cuales de forma general se observó una reducción de la viscosidad con el uso del aditivo CIPIMM (disminuía entre 50 Pa con respecto a las pruebas sin aditivo).

En el 2005 se realizó un estudio mas profundo que confirmó que el aditivo disminuye la viscosidad de la pulpa. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla #3. Resultados de las pruebas de viscosidad y concentración de sólido en el extractable.

Pruebas de viscosidad, año	**Con Aditivo**		**Sin Aditivo**	
Rango UF-sol	**UF-sol,%**	**Viscosidad (Pa)**	**UF-sol,%**	**Viscosidad (Pa)**
Más de 49%	50,16	100	50,38	150
De 49%-47,5%	48,36	40	47,89	190
De 47,5%-45,5%	47,02	60	47,12	180

En el 2006 el mismo CIPIMM teniendo en cuenta que los resultados fueron positivos decide tomarlos de base para la realización de una prueba industrial.

Los criterios de diseño para la prueba industrial fueron los siguientes:

1. % de sólido hasta el 49 % bombeable.
2. Incremento en el % de sólido con relación al actual 2%.
3. Incremento de la productividad con respecto al resto de los sedimentadores convencionales 37%.

Los principales resultados de esta prueba se muestran en la siguiente tabla.

Tabla #4. Comportamiento de la concentración de sólido y la extracción con y sin aditivo.

Período	**% sólido de fondo**			**Extracción(t/d)**			
	TK-C con aditivo	TK-B sin aditivo	Dif	TK-C	TK-B	Dif	% inc
27-4-06 al 27-6-06	47,61	47,07	0,54	2023	1554	469	30%

En las últimas pruebas realizadas por el CIPIMM monitorearon la concentración de sólido, el pH de la pulpa y la capacidad de los sedimentadores, uno con aditivo y otro sin aditivo.

Tabla #5. Resultados de las ultimas pruebas por el CIPIMM (A-Aditivo, B-Blanco).

Año 2006	**UF- % sólido**			**OF- pH**			**Capacidad (t/d)**			
Fecha	A	B	dif	A	B	dif	A	B	dif	% incremento
27/05-08/06	49,9	40,4	9,5	5,92	6,94	-1,02	2391	1714	676	39,5
09/06-21/06	49,9	40,9	9,0	6,05	6,82	-0,77	2355	1713	641	37,4
22/06-30/06	49,4	40,2	9,2	6,43	6,96	-0,53	2317	1709	608	35,6
12/07-20/07	48,9	40,0	8,9	6,94	7,21	-0,27	2264	1675	589	35,2

Obteniéndose resultados satisfactorios que alientan a la empresa para la puesta en marcha de la dosificación de aditivo a la totalidad de los espesadores convencionales.

La tecnología del CIPIMM que incrementa tanto el por ciento de sólido de fondo como la capacidad de los espesadores tiene un impacto directo en la capacidad de la planta de Lixiviación, porque incrementa la concentración de sólidos de la pulpa alimentada a esta Planta.

Las pruebas realizadas en el CIPIMM mostraron resultados como los que se ven a continuación sobre la adición del aditivo.

1 No provoca cambios negativos en el control ambiental.

2 No afecta los procesos posteriores de lixiviación y precipitación de los sulfuros de Ni + Co en la tecnología principal.

3 La adición del mismo modo de la solución ácida de sulfato ferroso permite aumentar la productividad de los sedimentadores entre 120 - 180%, la concentración de sólidos en 1-5% y disminuir la viscosidad en 40-50%.

4 Este procedimiento permite incrementar la producción de níquel y cobalto en más de un 10% en relación a la capacidad actual de una planta en operación como la de Moa.

5 La implementación de la invención en la práctica no es compleja y utiliza equipos convencionales

6 No se detecta ningún tipo de afectación ni en el concreto ni en el acero al carbono por efecto del aditivo.

7 La utilización de aditivo no ejerce ningún efecto significativo sobre la velocidad de corrosión en los sedimentadores.

Conclusiones.

Según informes emitidos por el CIPIMM, basados en pruebas realizadas en los niveles de laboratorio y planta piloto, la adición de sulfato de hierro heptahidratado a la pulpa que se alimenta en los espesadores de la planta de Espesadores en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba permite incrementar la productividad la productividad de los espesadores sin sacrificar la concentración de sólidos en la descarga y sin incrementar la velocidad de corrosión del equipamiento. Los mismos resultados han sido informados sobre la base de pruebas realizadas durante 5 meses en un espesador a nivel industrial. Sin embargo, no han sido encontradas referencias sobre investigaciones dirigidas a determinar el comportamiento de la planta como un todo, durante el proceso de asimilación de la nueva tecnología.

CAPÍTULO 2

MATERIALES Y MÉTODOS.

Una vez realizada la explicación de la puesta en marcha de la adición de aditivo en los tanques espesadores convencionales por el proyecto CIPIMM, y visto algunos de los resultados, sobre el efecto de este en la productividad de la planta y con esto de la fábrica, se fundamenta el diseño de los experimentos para la comprobación de los resultados obtenidos a escala piloto. No sin antes realizar la descripción de la planta dosificadora de aditivo a los espesadores.

2.1 Descripción del proceso de preparación del aditivo.

Con la tecnología CIPIMM se espera aumentar el porciento de sólido en la pulpa de fondo de los espesadores, logrando una pulpa mas espesa, bombeable y por ende un aumento en la capacidad de la Planta de Lixiviación. El montaje de la Planta dosificadora de aditivo se ubicó en áreas de la planta de Espesadores de Pulpa con el objetivo de estar cerca de las líneas de alimentación de pulpa que serán utilizadas para la adición del sulfato de hierro heptahidratado a los tanques espesadores, así como utilizar el resto de las facilidades de la planta, como agua, aire, corriente eléctrica, etc.

El circuito de preparación del aditivo cuenta con 4 sistemas:

1. Transportación, almacenaje, manipulación y destino final de los Bolsos de Sulfato de Hierro Heptahidratado. ($FeSO_4\ 7H_2O$).
2. Unidad de preparación de la solución ácida
3. Sistema de dosificación de la solución ácida
4. Sistema de ácido.

La unidad de preparación de la solución ácida y ($FeSO_4$ $7H_2O$).está compuesta por los siguientes equipos:

- Tanque con agitación mecánica con capacidad de preparar 15 m^3.
- Tanque de almacenaje de la solución de capacidad 22 m^3.
- Bomba de transferencia con 300 gpm de capacidad.
- Bombas dosificadoras de 15 gpm de capacidad.

La preparación y dosificación del aditivo se realiza en 2 pasos.

Primero ocurre la preparación de la solución ácida de ($FeSO_4$ $7H_2O$). Utilizando agua de Proceso procedente de la termoeléctrica. El sistema de mezclado opera en automático con control de los niveles del tanque de mezcla y agitación continua. Este tanque tiene instalado una línea de llenado rápido de agua con una válvula de control de flujo que se sierra cuando el agua alcanza el 40 % del volumen del tanque. En este mismo instante se enciende automáticamente el agitador y comienza la transferencia de ácido sulfúrico desde la planta de ácido.

Luego se comenzará con la adición del ($FeSO_4$ $7H_2O$) sólido En cada operación se descargan dos bolsos de sólido con 1000 Kg de capacidad, disolviéndose instantáneamente. Una vez disuelto se procede a completar el volumen del tanque con agua mediante un llenado lento hasta el 95% del volumen del tanque.

Después de 30 minutos de ser alcanzado el 95% del volumen del tanque el agitador se desconectará automáticamente. La transferencia de la solución ácida hacia el tanque de almacenaje de 22 m^3 se realizará con bombas centrifugas de 300 gpm de capacidad.

Segundo: Sistema de dosificación de la solución ácida

La dosificación del tanque de almacenaje es succionada y descargada por 2 bombas centrífugas dosificadoras de 15 gpm de capacidad. La solución debidamente diluida se transporta hasta el mezclador ubicado en la línea de pulpa cruda que alimenta al sedimentador.

Todo el sistema está completamente automatizado con conexión y control a través del PLC instalado en el cuarto de control de la planta de espesadores. En la línea

está instalado un medidor de flujo magnético, en coordinación con el medidor de agua y por cálculo permite conocer y controlar la cantidad y concentración de la solución que se añade al sedimentador

La dosificación se logra según la relación mineral/$FeSO_4$ $7H_2O$, con el densímetro y el flujo con el medidor magnético instalados en la línea de pulpa se sabe el contenido de sólido de la pulpa alimentada. Si el porciento de sólido disminuye por debajo de 7%, o el pH por debajo de 4, o la alimentación de pulpa por debajo de 15 t/h se detendrá automáticamente la inyección de la solución ácida. Además por seguridad a las instalaciones y evitar altas velocidades de corrosión se instaló una redundancia para la dosificación que relaciona el pH de la pulpa de mineral después del punto de mezcla.

2.2 Obtención de las muestras de trabajo y diseño experimental.

2.2.1 Obtención de las muestras para determinar la variación del pH.

A raíz de la adición de sulfato de hierro heptahidratado se han presentado dificultades con la estabilidad del pH en los tanques espesadores, presentándose diferencia entre los valores de las mediciones locales por el equipo situado en el espesador, el CITEC y las mediciones de mesa realizadas por el operador.

Las dificultades para mantener en la planta de “Espesadores”, valores de pH estables, pueden provocar las siguientes consecuencias:

- Incremento de los costos asociados a la obtención y transporte del aditivo.
- Intensificación del trabajo de los operadores, por la toma de muestras con vías a corroborar los resultados obtenidos automáticamente.
- Complicaciones operativas, en la planta de “Sedimentadores”

Del mismo modo se ha podido observar como luego de la adición del aditivo la planta ha venido sufriendo afectaciones por corrosión. Dentro de los trabajos desarrollados se encuentran la sustitución tuberías, el cambio de partes componentes de las bombas.

Para realizar la comprobación de la diferencia en los resultados de las mediciones locales de pH en los espesadores, los datos del CITEC y resultados obtenidos por el

operador para la realización de una prueba de masa; se tomaron 759 mediciones de pH en la bases de datos de producción de la empresa, desde Enero hasta Mayo del 2008. Para esto se seleccionó un método estadístico (muestreo por muestras pareadas). Siendo este el más adecuado para este caso. Y nos auxiliamos del Microsoft Excel para la realización de los cálculos

Para comparar las medias de muestras pareadas y contar con una estimación del valor de la diferencia, se determinó el intervalo de confianza para la diferencia media. Para ello, de acuerdo con Sánchez (1986), se estima la diferencia entre los dos componentes de cada par, se determina la diferencia media $\overline{d}$ y seguidamente se determina el intervalo de confianza, para la diferencia media, que es

$$\left[\overline{d} - \Delta d; \overline{d} - \Delta d\right]$$

$$\left[\overline{d} - t_{\alpha/2;\, n-1} \cdot \frac{S_d}{\sqrt{n^*}}; \overline{d} + t_{\alpha/2;\, n-1} \cdot \frac{S_d}{\sqrt{n^*}}\right]$$

donde S_d - desviación típica de las diferencias; n^* - número de parejas de observaciones.

$t_{0,025;\, 759} = 1.960$ (Mason, 1994).

Tabla #6. Representación de los datos tomados para el cálculo estadístico.

Hora	TK-1A			TK-1B			TK-1C		
	M.Local	CITECT	M.Mesa	M.Local	CITECT	M.Mesa	M.Local	CITECT	M.Mesa
18:00	5,4	5,2	5,6	4,9	4,8	5,1	5,7	5,5	5,8
10:00	5,3	5,1	5,5	5,0	4,9	5,1	5,3	5,1	5,3
14:00	5,1	4,8	5,3	4,9	4,7	5,0	5,3	5,1	5,4
18:00	4,2	4,4	4,4	4,3	4,4	4,5	4,9	5,0	4,7
10:00	5,1	5,0	5,0	4,7	4,8	4,6	5,3	5,5	5,1
14:00	4,6	4,5	4,7	4,7	4,5	4,8	5,4	5,1	5,5
10:00	5,8	5,6	5,9	4,9	5,0	5,0	5,6	5,5	5,7
14:00	5,7	5,5	6,0	5,0	5,3	3,0	5,7	5,4	5,8
18:00	4,3	4,0	4,6	4,6	4,9	4,3	5,6	5,3	5,7
10:00	5,2	5,1	5,3	4,5	4,6	4,2	5,2	5,2	5,0
14:00	5,0	4,8	5,5	5,0	4,5	4,1	5,3	5,3	5,5
18:00	5,3	5,0	5,2	4,3	4,2	4,2	5,5	5,6	5,8
10:00	5,5	5,6	5,6	4,6	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6
14:00	4,3	4,5	4,5	5,1	5,0	5,1	5,0	5,0	5,1
18:00	4,1	4,0	4,0	4,1	4,3	4,0	4,0	4,1	4,0
10:00	5,2	5,3	4,6	4,8	4,5	4,6	4,9	5,3	4,8
14:00	4,5	4,6	4,4	4,2	4,0	4,8	5,0	5,1	4,5
18:00	4,6	5,3	4,2	4,5	4,8	4,4	5,0	4,6	4,3
10:00	5,1	5,2	53	4,6	4,6	4,5	5,3	5,5	5,4
14:00	5,1	5,0	5.0	4,6	4,7	4,7	5,3	5,8	5,4
18:00	5,0	4,9	5,0	4,6	4,7	4,6	4,9	4,8	4,9
18:00	4,8	5,2	5,4	5,0	4,9	5,2	5,3	5,1	5,5
22:00	4,5	4,3	4,7	4,9	4,7	5,3	5,1	4,2	5,6
02:00	5,0	5,2	5,3	5,0	4,7	5,2	5,5	5,3	5,7
06:00	5,2	5,1	4,8	5,3	5,1	5,2	4,6	4,3	4,5
10:00	4,8	5,2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,6
14:00	5,0	5,2	5,2	4,6	5,3	4,6	4,3	4,8	4,8
18:00	4.8	4,7	5,2	4,3	4,4	4,8	5,3	5,1	5,6
22:00	5,0	4,8	5,3	4,9	4,7	5,2	5,0	5,2	5,4
02:00	5,2	4,5	5,1	5,0	5,3	5,3	5,1	4,9	5,4
06:00	4,5	4,5	4,4	4,5	4,6	4,3	5,0	4,8	4,5
10:00	4,7	4,4	4,6	4,6	4,4	4,6	4,8	4,4	4,2
14:00	4,8	4,6	4,2	4,0	4,2	4,5	4,6	4,2	4,1
18:00	5,3	5,4	5,4	4,4	4,6	4,8	5,0	4,6	4,2
22:00	5,2	5,6	5,6	5,1	4,9	4,8	5,4	5,2	5,0
02:00	5,6	5,8	5,7	4,8	4,4	4,3	5,4	5,0	5,1
06:00	5,0	4,9	5,2	3,9	4,2	4,5	5,3	5,2	5,7
10:00	5,2	4,8	5,4	4,7	4,7	4,7	5,2	5,1	5,8
14:00	4,9	5,1	5,0	4,9	4,6	4,8	5,2	5,0	5,3

Realización de un cálculo de los desarrollados, como ejemplo de la metodología utilizada.

Tabla #7.Datos para el cálculo estadístico M. Local - M. Mesa del TK-1 A.

# Muestras	M. Local	M. Mesa	d_i	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	5,4	5,6	-0,20	-0,13	0,02
2	5,3	5,5	-0,20	-0,13	0,02
3	5,1	5,3	-0,20	-0,13	0,02
4	4,2	4,4	-0,20	-0,13	0,02
5	5,1	5,0	0,10	0,17	0,03
6	4,6	4,7	-0,10	-0,03	0,00
7	5,8	5,9	-0,10	-0,03	0,00
8	5,7	6,0	-0,30	-0,23	0,05
9	4,3	4,6	-0,30	-0,23	0,05
10	5,2	5,3	-0,10	-0,03	0,00
11	5,0	5,5	-0,50	-0,43	0,18
12	5,3	5,2	0,10	0,17	0,03
13	5,5	5,6	-0,10	-0,03	0,00
14	4,3	4,5	-0,20	-0,13	0,02
15	4,1	4,0	0,10	0,17	0,03
16	5,2	4,6	0,60	0,67	0,45
17	4,5	4,4	0,10	0,17	0,03
18	5,1	53	-0,20	-0,13	0,02
↓					
759			-51,25		135,96

Como la estimación de la diferencia media se realiza con un 95% de confianza entonces

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{135,96}{758}} = 0,42$$

Como $1-\alpha = 0,95$, entonces $\alpha/2 = 0.025$ y $t_{0,025;758} = 1,96$ y el intervalo de confianza queda:

Límite Inferior = $\bar{d} - t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = -0,07 - 1,96 * \frac{0,42}{\sqrt{759}} = -0,10$

Límite Superior = $\bar{d} + t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = -0{,}07 + 1{,}96 * \frac{0{,}42}{\sqrt{759}} = -0{,}04$

Tabla #8. Datos para el cálculo estadístico CITEC - M. Mesa del TK–1A.

# Muestras	CITEC	M. Mesa	d_i	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	5,2	5,6	-0,40	-0,32	0,10
2	5,1	5,5	-0,40	-0,32	0,10
3	4,8	5,3	-0,50	-0,42	0,18
4	4,4	4,4	0,00	0,08	0,01
5	5,0	5,0	0,00	0,08	0,01
6	4,5	4,7	-0,20	-0,12	0,01
7	5,6	5,9	-0,30	-0,22	0,05
8	5,5	6,0	-0,50	-0,42	0,18
9	4,0	4,6	-0,60	-0,52	0,27
10	5,1	5,3	-0,20	-0,12	0,01
11	4,8	5,5	-0,70	-0,62	0,38
12	5,0	5,2	-0,20	-0,12	0,01
13	5,6	5,6	0,00	0,08	0,01
14	4,5	4,5	0,00	0,08	0,01
15	4,0	4,0	0,00	0,08	0,01
16	5,3	4,6	0,70	0,78	0,61
17	4,6	4,4	0,20	0,28	0,08
18	5,2	53	-0,10	-0,02	0,00
↓					
759			-63,48		93,80

Como la estimación de la diferencia media se realiza con un 95% de confianza entonces

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{93{,}80}{758}} = 0{,}35$$

Como $1 - \alpha = 0{,}95$, entonces $\alpha/2 = 0{,}025$ y $t_{0{,}025;758} = 1{,}96$ y el intervalo de confianza queda:

Límite Inferior = $\bar{d} - t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = -0{,}08 - 1{,}96 * \frac{0{,}35}{\sqrt{759}} = -0{,}11$

Límite Superior = $\bar{d} + t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = -0{,}08 + 1{,}96 * \frac{0{,}35}{\sqrt{759}} = -0{,}06$

Tabla #9.Datos para el cálculo estadístico M. Local – CITEC del TK-1 A.

# Muestras	M. Locales	CITEC	d_i	$d_i - \bar{d}$	$(d_i - \bar{d})^2$
1	5,4	5,2	0,18	0,03	0,03
2	5,3	5,1	0,18	0,03	0,03
3	5,1	4,8	0,28	0,08	0,08
4	4,2	4,4	-0,22	0,05	0,05
5	5,1	5,0	0,08	0,01	0,01
6	4,6	4,5	0,08	0,01	0,01
7	5,8	5,6	0,18	0,03	0,03
8	5,7	5,5	0,18	0,03	0,03
9	4,3	4,0	0,28	0,08	0,08
10	5,2	5,1	0,08	0,01	0,01
11	5,0	4,8	0,18	0,03	0,03
12	5,3	5,0	0,28	0,08	0,08
13	5,5	5,6	-0,12	0,01	0,01
14	4,3	4,5	-0,22	0,05	0,05
15	4,1	4,0	0,08	0,01	0,01
16	5,2	5,3	-0,12	0,01	0,01
17	4,5	4,6	-0,12	0,01	0,01
↓					
759			13		95,88

Como la estimación de la diferencia media se realiza con un 95% de confianza entonces

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i - \bar{d})^2}{(n-1)}}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{95.88}{758}} = 0{,}36$$

Como $1 - \alpha = 0{,}95$, entonces $\alpha/2 = 0{,}025$ y $t_{0{,}025;758} = 1{,}96$ y el intervalo de confianza queda:

Límite Inferior = $\bar{d} - t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = 0{,}02 - 1{,}96 * \frac{0{,}36}{\sqrt{759}} = -0{,}01$

Límite Superior = $\bar{d} + t_{\alpha/2;n-1}\frac{S_d}{\sqrt{n}} = 0{,}02 + 1{,}96 * \frac{0{,}36}{\sqrt{759}} = 0{,}04$

Los cálculos que se realizaron para las mediciones en los otros tanques son iguales a los que se pudieron ver para el TK- 1 A.

2.2.2 Toma de muestra para determinar la posición eficiente del electrodo de medir pH en el espesador.

Para llevar a cabo este experimento se procedió a la toma de muestras de pulpa cruda en el feed well de cada tanque convencional A, B, C, en diferentes posiciones y a diferentes profundidades. Las muestras se tomaron con la misma metodología con que se lleva a cabo por los operadores; mediante la utilización del tramojo y siempre valiéndose de la ayuda de un operador con los conocimientos de las mediciones realizadas a diario. Esto se realizó en diferentes días y a diferentes horas, tratando de encontrar una respuesta en la variación del pH con el tiempo. Luego de ser tomadas las muestras, inmediatamente se procedió al análisis del pH en el peachimetro de mesa, que se encuentra en el cuarto de control, estableciendo una comparación con los datos obtenidos a esa misma hora por las mediciones locales.

2.2.3 Pruebas para determinar la influencia del aditivo sobre la velocidad de corrosión en los espesadores.

Espesadores es una de nuestras zonas más atacada por la corrosión ambiental, fundamentalmente química, ya que inciden, empujados por las corrientes de aire, en sus diferentes instalaciones, los fenómenos y agentes emanados de todas partes de la fábrica, las piezas y elementos de acero al Carbono como canales, angulares, barandas, pisos, etc, tienen que ser cambiados en poco tiempo por lo corto de su vida útil.

Uno de los objetivos del trabajo es la realización de pruebas con vista a determinar la influencia de la adición del aditivo sobre la velocidad de corrosión de los elementos metálicos de los espesadores. Para esto se procedió a montar testigos

de corrosión en el tanque espesador TK 1A. Los testigos montados, fueron de acero al carbono tipo A 285 Grado C y de aceros inoxidables grado A 304 y A 317 L. Los mismos se montaron en soportes de acero inoxidables que se soldaron a la pared del feed well. Cada soporte contenía 9 testigos; los testigos fueron montados a diferentes profundidades. El primer soporte fue situado a 0,9 m del fondo, el segundo a 4,5 m del fondo y el tercero a 1,2 m del techo. Para la realización de esta prueba nos auxiliamos del método que se muestra a continuación.

Método de determinación de la velocidad de Corrosión en g/m^2.horas y en mm/año.

Tabla #7. Metodología para el cálculo de la velocidad de corrosión.

Testigo	P,I. 1. g	P. F 1 g	Área (m^2)	Tiempo 1 hrs.	K- 1gr/m^2/año	K-1 (penetración) mm/año
A						
B						

Fórmula para determinar la velocidad de corrosión (K-).

K- (Velocidad de Corrosión) = PI – PF * δ (densidad del metal).*S.* t

El resultado de esta formula se da en g/m^2.horas.

Los pesos, inicial y final de cada corrida, P. I y P. F, se toman en balanzas de precisión hasta 5 lugares después del punto (diez milésimas) en gramos, de esta forma se considera la menor variación de peso que haya en los testigos.

δ (densidad): es una constante para cada tipo de metal o aleación

S = Es el área total del testigo en m^2.

t = Es el tiempo de exposición del testigo al medio en que se prueba la resistencia a la K- (Velocidad de Corrosión) y se da en horas.

Para llevar la K-, velocidad de corrosión, g/m^2.horas a penetración, mm/año, se emplea la formula siguiente:

Vc (velocidad de corrosión) = $\frac{K\ (g/m^2/hrs.) \times 8.76}{\delta}$ (densidad del acero al carbono)

2.2.4 Incidencias en la productividad de la planta.

Para poder demostrar como influye realmente en la productividad de la planta la adición del aditivo, se procedió a realizar un estudio de la producción de cada sedimentador convencional antes y después de la puesta en marcha de la tecnología del CIPIMM, auxiliándonos del Microsoft Excel, para la realización de los cálculos correspondientes. Se tomaron datos de producción del año 2005 antes de la tecnología del CIPIMM y luego de la puesta en marcha en Abril del 2006 hasta lo que va del 2008, y se estableció una comparación de los valores de producción, inventario y concentración de sólido. Estos valores que se muestran en la tabla son los valores promedio por año.

Tabla #8 Datos para establecer la comparación antes y después de la adición del aditivo.

Años	**Extracción (t/día)**			**Inventario (t)**			**% Sólido**		
	TK-A	TK-B	TK-C	TK-A	TK-B	TK-C	TK-A	TK-B	TK-C
2005	1477	1544	1645	12246	17390	18255	46,6	46,8	47,3
2006	1408	1446	1879	12298	15273	18319	42,35	45,4	46,81
2007	2115	2084	2273	14544	15457	16059	43,32	46,1	46,6
2008	2340	2351	2267	17838	17903	18440	45,38	45,48	45,93

Conclusiones.

Se fundamenta la metodología experimental y de cálculo para darle solución al problema planteado. Auxiliándose de la realización de cálculos estadísticos que permiten encontrar las diferencias entre las lecturas del pH. Se desarrollaron cálculos dirigidos a determinar la influencia real del aditivo en la estructura metálica de los espesadores y se realizó una búsqueda en la base de datos de producción de la planta para establecer una comparación de la influencia del aditivo en la productividad.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Resultado de los cálculos estadísticos.

Luego de realizados los cálculos pertinentes se puede afirmar con una probabilidad de error menor o igual al 5 % que si existe diferencia entre las mediciones locales del pH, el CITEC y las muestras de mesa.

Tabla # 10. Resultados de los cálculos estadísticos de las mediciones de pH.

		TK-A	TK-B	TK-C
Medición Local - Medición de Mesa	Límite Superior	-0,04	-0,02	-0,01
	Límite Inferior	-0,10	-0,07	-0,08
CITEC - Medición de Mesa	Límite Superior	-0,06	-0,06	-0,06
	Límite Inferior	-0,11	-0,11	-0,12
Medición Local - CITEC	Límite Superior	0,04	0,05	0,07
	Límite Inferior	-0,01	0,02	0,01

Como se puede observar en los resultados que nos muestra la tabla, la diferencia entre las lecturas que se realizaron por el equipo situado en el tanque (medición local) y las que se realizaron por el CITEC incluyen el cero dentro de ambos límites, lo que quiere decir que es el único resultado en que las mediciones pueden ser iguales. En las otras mediciones se observa diferencia, las mayores diferencias principalmente en las mediciones locales y las de mesa, esto puede estar dado por la incorrecta toma de muestras para las mediciones de mesa, que la temperatura en el espesador no sea la misma que la del cuarto de control donde se encuentra el peachimetro, que el equipamiento que realiza las mediciones este fuera de calibración.

Se pudo también comprobar que existen otras causas que provocan estas afectaciones:

- Las válvulas de dosificación del aditivo presentan una respuesta lenta, ya que las mismas están diseñadas para operar con aditivo diluido; es decir a mayores flujos, recomendándose que se creen las condiciones necesarias para la dilución del aditivo o se sustituyan las válvulas existentes por otras que trabajen dentro del rango de operación actual.
- En ocasiones los flujómetros de la línea de pulpa, cuando se opera a una alto volumen de alimentación a los espesadores, por encima de 4000 gpm se van de rango y envían valores no confiables, que provocan la inestabilidad en la adición de aditivo; influyendo negativamente en la dosificación de aditivo. Siendo necesario la instalación de flujómetros de mayor capacidad.

3.1.2 Resultado de la posición del electrodo de medir pH.

El muestreo realizado para la determinación de la posición del electrodo de medir pH en el los espesadores arrojó que el lugar donde se situé el electrodo no influye en las lecturas del pH, sin embargo algo significativo fue la profundidad, ya que en determinadas ocasiones de gran extracción, al bajar el nivel del espesador, el electrodo se queda fuera de la solución y emite falsos valores

Otra de las causas por la cual debe estar a mayor profundidad, es porque cuando el tanque cuenta con el inventario y el nivel alto, en ocasiones el agua de reboso pasa hasta el interior del feed well, el agua de reboso presenta un pH mas ácido que la pulpa y si el electrodo esta superficial, dará las lecturas del pH del agua de reboso y no de la pulpa. Siendo recomendable según las pruebas realizadas que sea situado a 4 pies de profundidad, a esta profundidad estará sumergido siempre en el lecho de pulpa evitándose falsas señales.

Es necesario tener en cuenta que antes de realizar cualquier prueba relacionada con variaciones de pH, es recomendable proceder a la calibración de los equipos.

3.1.3 Resultados de las pruebas de corrosión.

A continuación aparecen los resultados arrojados por cada soporte al finalizar las pruebas en Marzo de 2008.

Tabla # 11. Soporte 1. A 0,9 m del fondo 1er rolo.

Muestra #	Material	Peso Inicial (g)	Peso Final 1 (g)	Peso Final 2 (g)	Diferencia de Peso 2 (g) (P1-P2)	-K2 g/m2/h	-K2 mm/año
1	A 285 C	41,1303	40,2778	38,9030	-1,3748	0,14026	0,1565
2	A 285 C	41,2852	40,0664	39,26.07	-0,8057	0,08219	0,0917
3	A 285 C	41,0513	38,1032	37,1523	-0,9509	0,09701	0,1083
Promedio						**0,10648**	**0,1188**

Tabla # 12. Soporte 2. A 4,5 m del fondo. , 4to rolo.

Muestra #	Material	Peso Inicial (g)	Peso Final 1 (g)	Peso Final 2 (g)	Diferencia de Peso 2 (g) (P1-P2)	-K2 g/m2/h	-K2 mm/año
4	A 285 C	40,6257	38,7601	36,8130	1,9471	0,19865	0,22167
5	A 285 C	40,9213	39,5686	37,5326	2,0360	0,207717	0,2318
6	A 285 C	40,7513	39,1648	36,3551	2,8097	0,28665	0,3199
Promedio						**0,23100**	**0,2578**

Tabla # 13. Soporte 3 A 1,2 m del techo. 5to rolo.

Muestra #	Material	Peso Inicial (g)	Peso Final 1 (g)	Peso Final 2 (g)	Diferencia de Peso 2 (g) (P1-P2)	-K2 g/m2/h	-K2 mm/año
7	A 285 C	40,7380	39,2532	31,2571	4,9961	0,5097	0,5688
8	A 285 C	40,5253	39,2300	34,0700	7,9961	0,8157	0,9102
9	A 285 C	40,5542	38,9071	29,1164	9,7907	0,9988	1,1146
Promedio						**0,7747**	**0,8645**

Observaciones:

La velocidad de corrosión de los testigos de aceros inoxidables en los tres niveles fue 0 (cero).

Los 9 testigos de acero al carbono, 3 por cada soporte, presentaron fuerte corrosión que se refleja en tabla anterior.

Tiempo de Trabajo 1: Primera corrida: 816 horas. Reportado el 13 de Julio 2007.

Tiempo de Trabajo 2: Segunda corrida: 1848 horas, dos campañas, total 77 días, la ultima de 49 días. En la salida de operaciones del T K 1 A, a los 28 días no se desmontaron los testigos.

La progresión de la corrosión a los diferentes niveles del tanque en que se realizaron las pruebas en orden ascendente fue:

1 Los testigos del soporte 1, cerca del fondo del tanque, K = 0.1188 mm/año.

2 Los testigos del soporte 2, medio del tanque, K = 0.2578 mm/año.

3 Los testigos del soporte 3, parte superior del tanque K= 0.8645 mm/año.

Antes de la adición del aditivo a los espesadores, no se presentaba una corrosión tan severa, los valores de penetración eran de 0,1-0,5 mm/año, los que corresponden a la clasificación dada en la norma N C 12-00-10, a 6 puntos, grupo 5 medianamente resistente. Estos resultados se corresponden con la corrosión normalmente experimentada en la Planta de Espesadores debido al ambiente altamente corrosivo predominante en esa área. Para esta velocidad de corrosión que se presentaba en la planta, se determinó un tiempo de campaña para los equipos y demás estructuras metálicas de acero al carbono de 10 años.

Pero como se puede ver en los resultados de las pruebas realizadas después de puesta en marcha de la tecnología de CIPIMM, los testigos de acero al carbono presentaron fuertes valores de corrosión situados en un rango de 0,1-0,9 mm/año perteneciente al grupo medianamente resistente a 7 puntos. De los resultados obtenidos de la influencia del aditivo en la velocidad de corrosión se planteo por parte de los tecnólogos que este tiempo debe de reducirse hasta 5 años o hacer las estructuras de material anticorrosivo, lo cual sería muy costoso, dado el tamaño de las estructuras.

Según datos (Reporte Tecnología CIPIMM) 2007, el pH de equilibrio cuando se adiciona aditivo a uno a los tres espesadores convencionales no disminuye significativamente. El pH mínimo que pudiera obtenerse debe estar alrededor de 6. Los resultados que se muestran en la Fig. # 4 demuestran que el pH luego de la incorporación de la tecnología del CIPIMM ha mantenido una tendencia a la acidez, que puede estar influyendo directamente en la velocidad de corrosión de los elementos metálicos de los espesadores.

3.1.4 Resultados del estudio de productividad de los espesadores.

En los gráficos que se muestran a continuación se puede ver como ha existido un alza no solo en la productividad de la planta, sino también en el inventario de los espesadores, esto está dado por la capacidad del aditivo de compactar el sedimento, haciendo posible que se realicen mayores extracciones. Aunque en la Fig. #3 se puede ver como ha disminuido la concentración de sólidos en los últimos años respecto a antes de la tecnología del CIPIMM, esto debe estar influenciado por el aumento de las extracciones realizadas, ya que en el 2005 el promedio de extracción día fue de 1555 t/d mientras que en 2008 se han mantenido promediando 2319 t/d; que es algo significativo, para la productividad de diseño de los espesadores.

Tabla #14. Resumen de productividad antes y después de la adición de aditivo.

Años	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Enero	1361	1450	1522	2362
Febrero	1497	1560	1819	2281
Marzo	1628	1462	1967	2382
Abril	1533	1329	1857	2389
Mayo	1448	1549	1882	2124
Junio	1472	1359	2210	2478
Julio	1539	1671	2103	
Agosto	1659	1525	1936	
Septiembre	1676	1659	2502	
Octubre	1593	1630	5181	
Noviembre	1510	2052	2881	
Diciembre	1743	1690	5407	

Tabla #15. Resumen del inventario de los espesadores antes y después de la adición de aditivo.

Años	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Enero	16663	12480	12035	18306
Febrero	17597	15815	13641	17484
Marzo	15570	15012	16176	18894
Abril	15169	13092	10460	17472
Mayo	14096	16007	13072	17900
Junio	16884	14243	15644	18596
Julio	17359	15867	14885	
Agosto	17574	16122	14916	
Septiembre	16830	17363	19145	
Octubre	15570	18350	19276	
Noviembre	14680	17297	16684	
Diciembre	13722	11993	18163	

Tabla #16. Resumen de la concentración de sólidos de los espesadores antes y después de la adición de aditivo.

Años	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**
Enero	47.00	46.18	46.54	46.32
Febrero	47.38	46.08	46.77	45.67
Marzo	47.71	45.34	46.96	45.18
Abril	47.02	43.92	46.16	45.22
Mayo	45.66	43.72	46.33	45.65
Junio	46.56	36.28	46.64	45.48
Julio	47.34	45.59	41.74	
Agosto	47.27	46.08	40.76	
Septiembre	46.87	46.31	44.94	
Octubre	47.34	46.09	45.61	
Noviembre	46.61	46.86	45.84	
Diciembre	45.86	45.73	46.05	

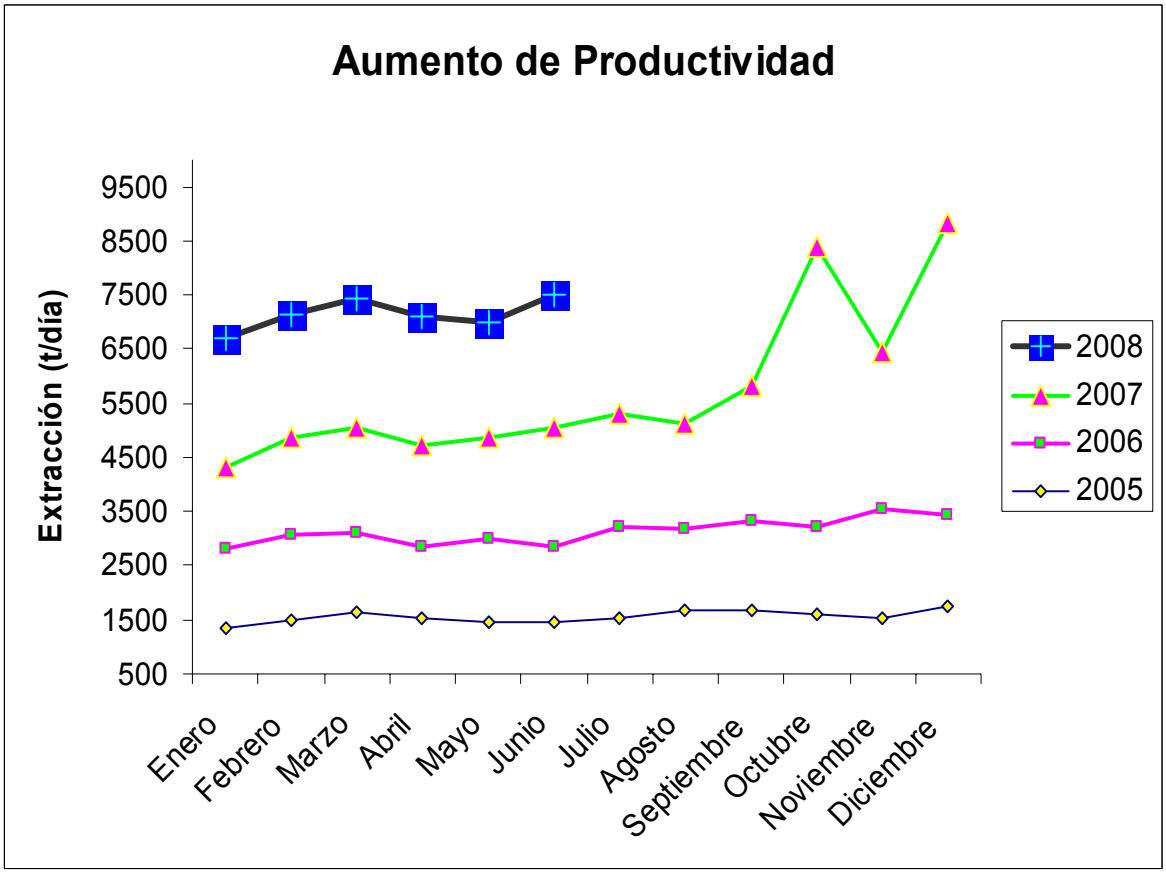

Fig. # 1. Comportamiento de la productividad de los espesadores en función del tiempo.

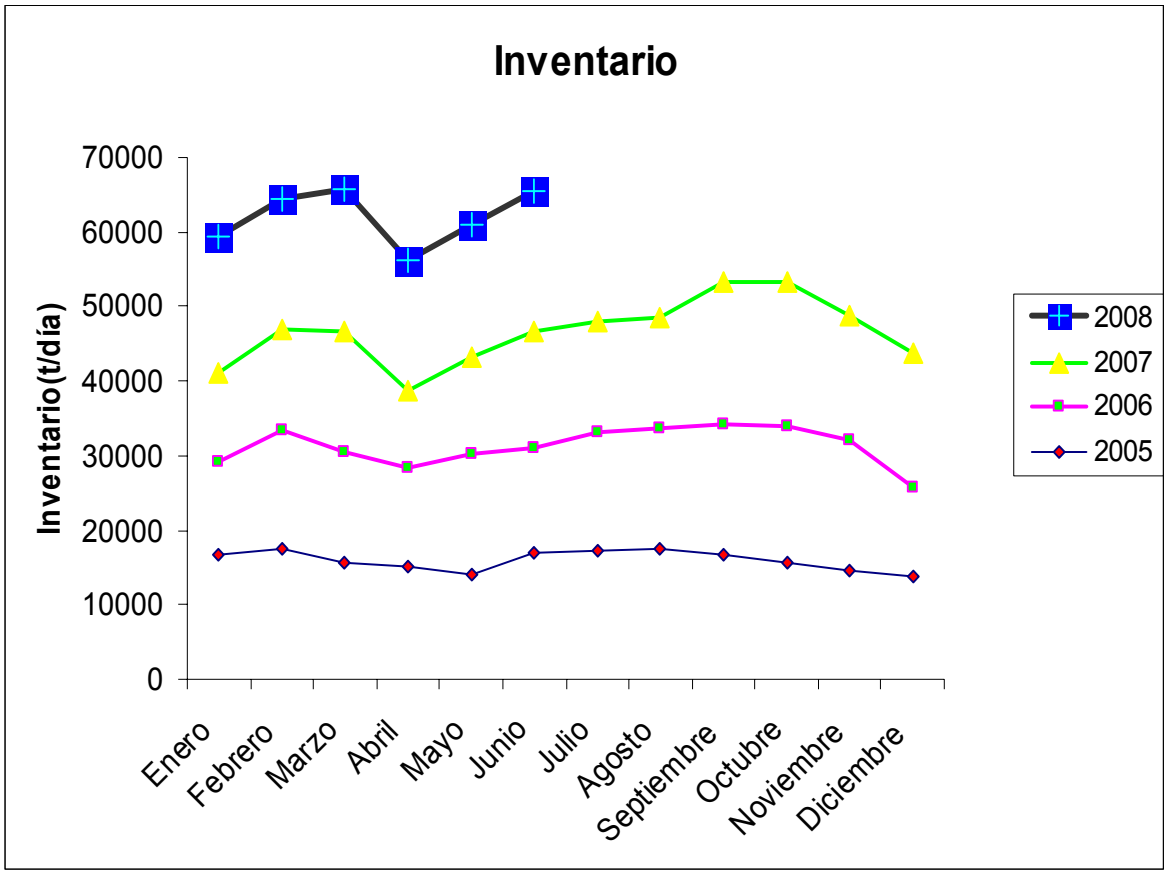

Fig. #2. Comportamiento del inventario en función del tiempo.

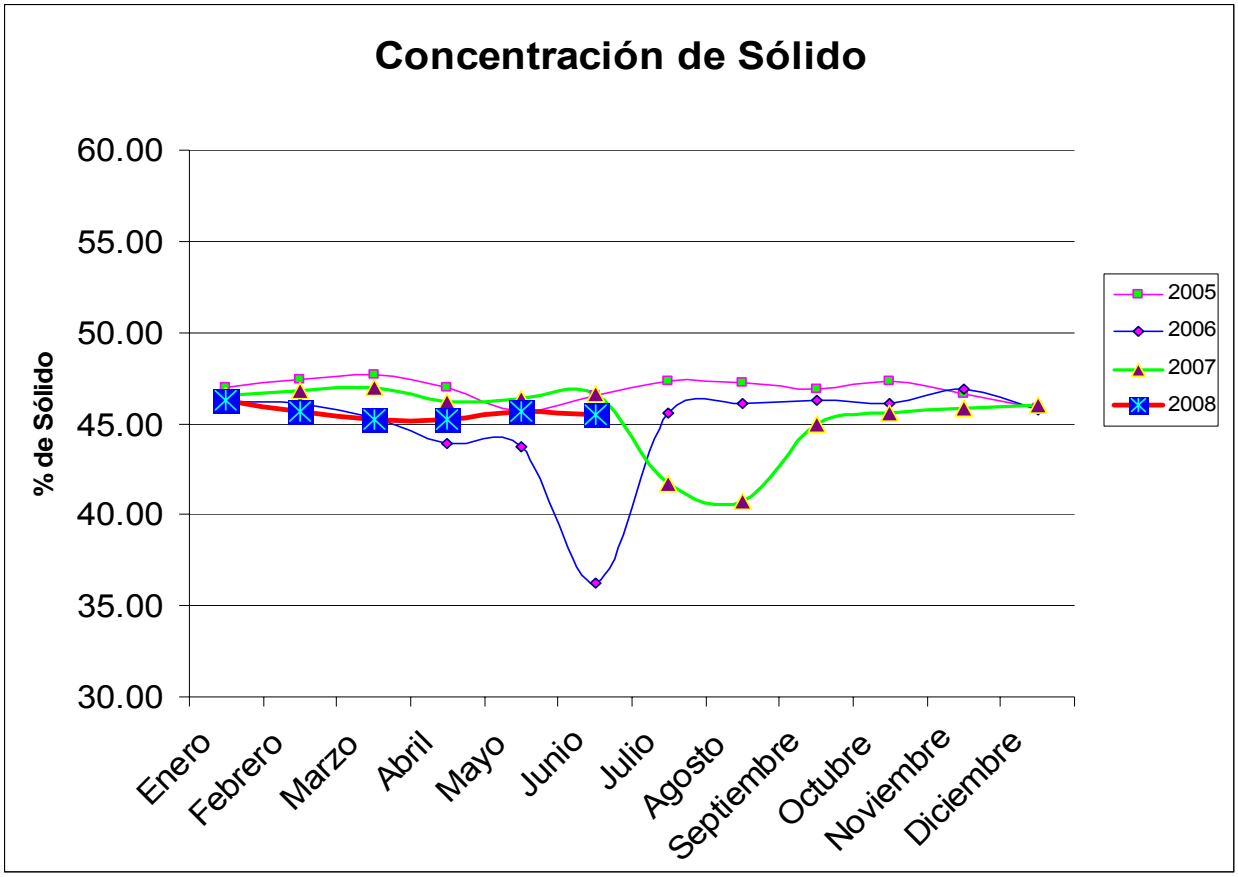

Fig. #3. Comportamiento de la concentración de sólido en función del tiempo.

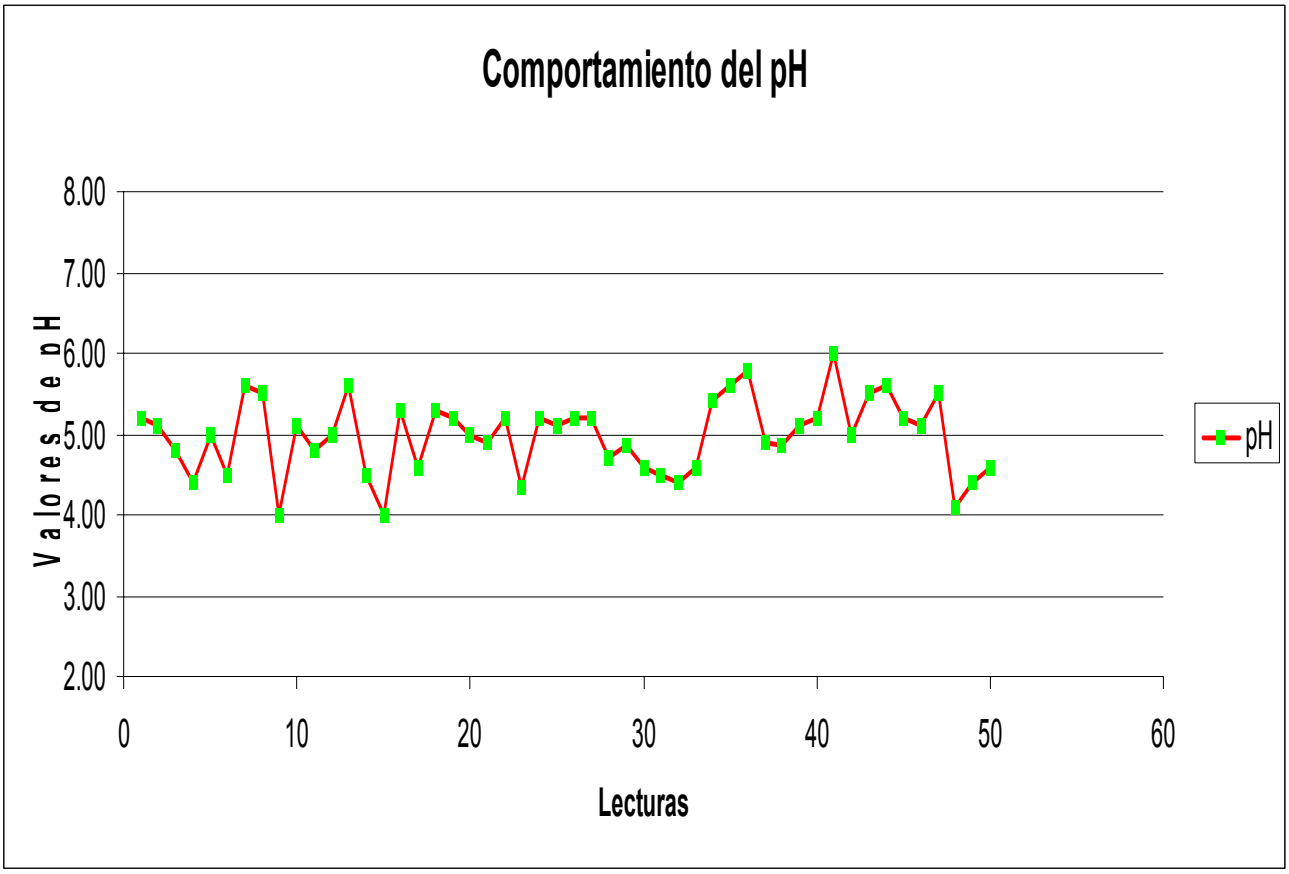

Fig. #4. Comportamiento del pH en función del tiempo.

Resumen.

El estudio del estado del arte permitió llegar a la conclusión; de que el tema planteado ha sido estudiado y puesto a prueba solo por el CIPIMM. Las pruebas desarrolladas arrojaron los siguientes resultados.

1. Violación del diseño de la planta dosificadora de aditivo, ya que el mismo es adicionado a los espesadores en forma concentrada, cuando por diseño se especifica que tiene que ser diluido.
2. El aditivo influye negativamente sobre las estructuras metálicas del espesador, aumentando la velocidad de corrosión, por lo que se recomienda que los elementos metálicos sean protegidos con pintura anticorrosiva.
3. La adición del aditivo influye de manera satisfactoria en la productividad de la planta, incrementando la compactación del sedimento y con este la productividad de las extracciones en un 66%.
4. La incorporación de la tecnología del CIPIMM ha incrementado la complejidad de las operaciones en la planta Espesadores.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de la tecnología del CIPIMM ha permitido aumentar la capacidad de los espesadores convencionales por encima de su diseño, ha aumentado la capacidad de compactación del sedimento; sin embargo ha traído como resultado, el incremento de la acidez de la pulpa, y la inestabilidad del pH, que ha provocado un incremento en la velocidad de corrosión de los elementos metálicos de los espesadores.
2. Existe diferencia significativa entre las lecturas de los tres puntos de medición del pH.

RECOMENDACIONES

1. Crear las condiciones garanticen la presión necesaria para que ocurra la dilución del aditivo.
2. Realizar la instalación de flujómetros de mayor capacidad en la línea de alimentación a los tanques espesadores.
3. Realizar periódicamente la calibración de la instrumentación de medir pH.
4. Realizar la sustitución de las válvulas dosificadoras de aditivo por otras que trabajen a la capacidad de operación de la planta de aditivo.
5. Se recomienda situar el electrodo de las mediciones locales a mayor profundidad.
6. Se recomienda seguir profundizando en el estudio de la aplicación del WL como aditivo para la planta Espesadores.

REFERENCIAS

1. Almaguer, A. F. 1996. Composición de la pulpa limonítica de la Empresa “Pedro Soto Alba”, Parte II, período de crisis de sedimentación. Revista Minería y Geología, 13(1): 27–31.
2. Beyrís, M. P. 1997. Mejoramiento del proceso de sedimentación de la pulpa de mineral laterítico de la empresa Comandante “Pedro Soto Alba”. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM (Moa). Facultad de Metalurgia.
3. Rojas, P, Beyrís, M. P. 1994. Influencia de la composición mineralógica en la sedimentación del material limonítico del frente de explotación de la industria “Pedro Soto Alba”, Revista Minería y Geología, 11(1): 13-17.
4. Falcón, H. J y otros. 1997. Sedimentación de la pulpa cruda en la empresa Moa-Níquel S.A, Revista Minería y Geología,14 (1): 31-36.
5. Falcón, H. J. 1983. Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la planta “Pedro Soto Alba”. Revista Minería Geología, 2: 173-188.
6. INFOMIN. 2007 Tecnología desarrollada para la explotación de las laterítas. Jornada Científica “40 Aniversario del CIPIMM”. La Habana Cuba, 20-21 Noviembre. (Memorias) ISSN-1992-4194.
7. Mason, R. D., Lind, D. A. y Marchal, W. G. 1994. Staistics. An Introduction. 4. ed. Harcourt BraceCollege Publishers, Florida, 659 pp.
8. Mariño, P, A. 2002. Variables para el control de la concentración de sólidos alcanzable por sedimentación gravitatoria. [Instituto Superior Minero Metalúrgico]. Moa (Tesis doctoral).
9. N C12-00-10. Escala Decimal de Resistencia a la Corrosión. Norma Cubana.
10. Resumen de los Reportes Técnicos. Incremento del % de Sólidos de la Pulpa Cruda. CIPIMM, La Habana, Mayo 2005-08-04.
11. Reporte Técnico, Prueba Piloto de Espesamiento de Pulpa Cruda con Tecnología CIPIMM, V. Herrera, L Mora, Moa, Agosto 2004.
12. Reporte Técnico. Pruebas continuas a escala piloto de espesamiento de la pulpa cruda con recirculación de reboso. Departamento de tecnología de los procesos. 2007
13. Reporte diario de la planta de “Espesadores”. Empresa Cdte. Pedro Soto Alba.
14. Razumov, K. A.1981. Enriquecimiento de minerales por Flotación.
15. Sánchez, A, R, y Torres, D. J. A. 1986. Estadística Elemental. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 331 pp,

Anexos

Fig. #1. Esquema de la planta piloto de preparación.

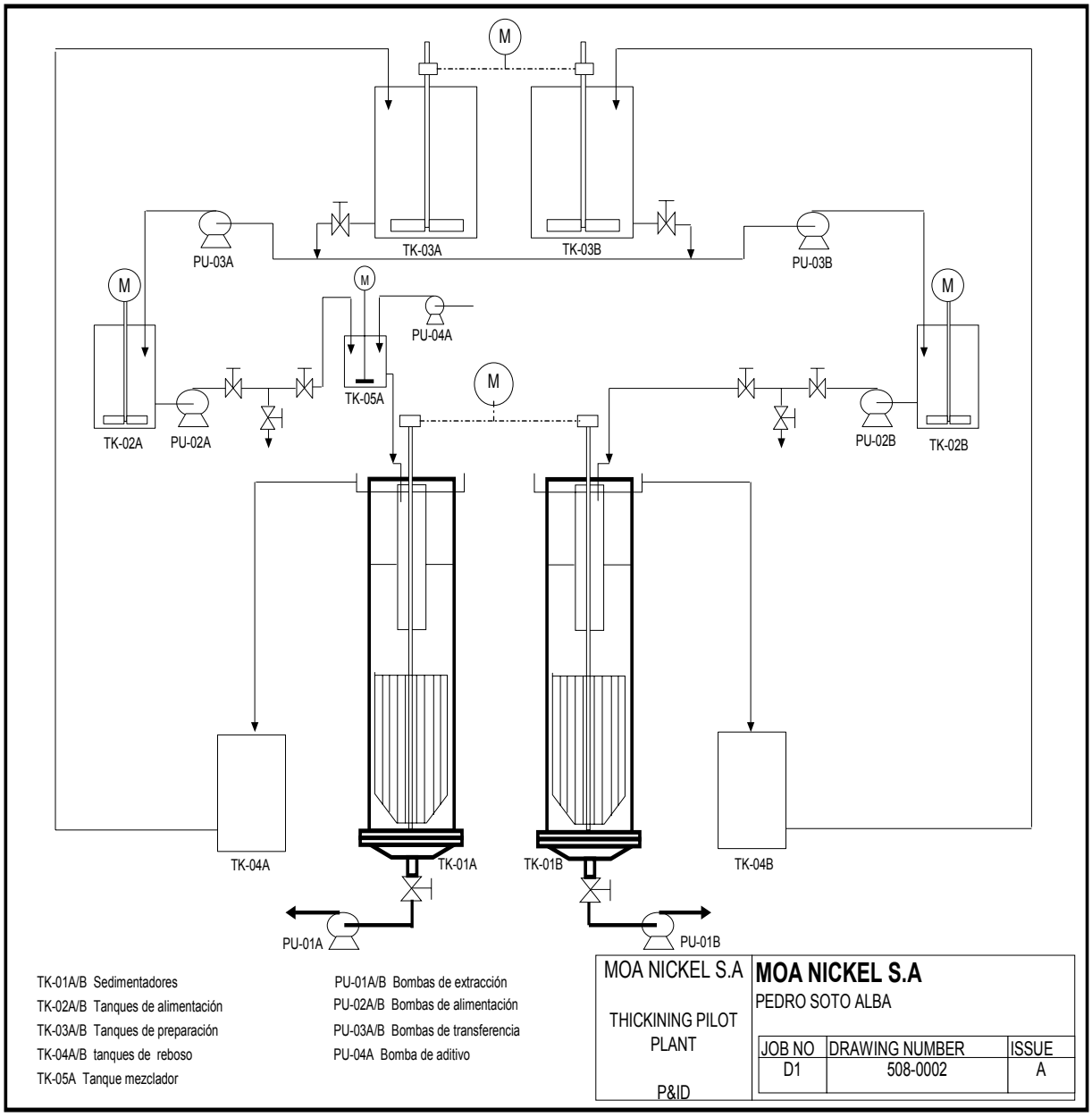
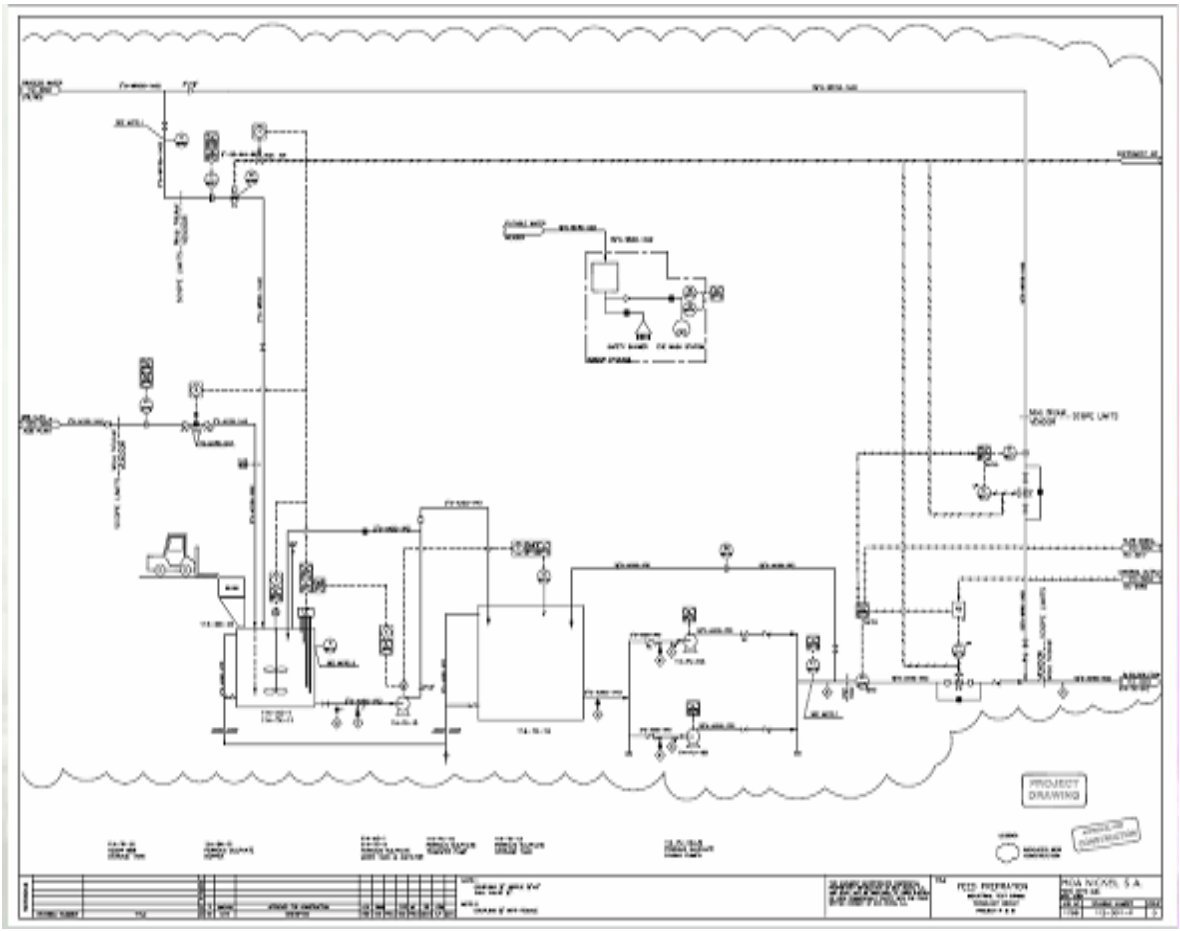
Fig. #2. Esquema de la planta industrial de preparación y dosificación de aditivo.