



Estrategia Operacional de Flotación desde Ciclo de Gestión de Riesgos CMDIC

Marcelo Rodriguez Mir
Gerente de Metalurgia
Compañía Minera Doña Inés Collahuasi



“FLOTACIÓN DE MINERALES DE COBRE ”

31 de julio de 2020

IMetChile agradece a sus auspiciadores

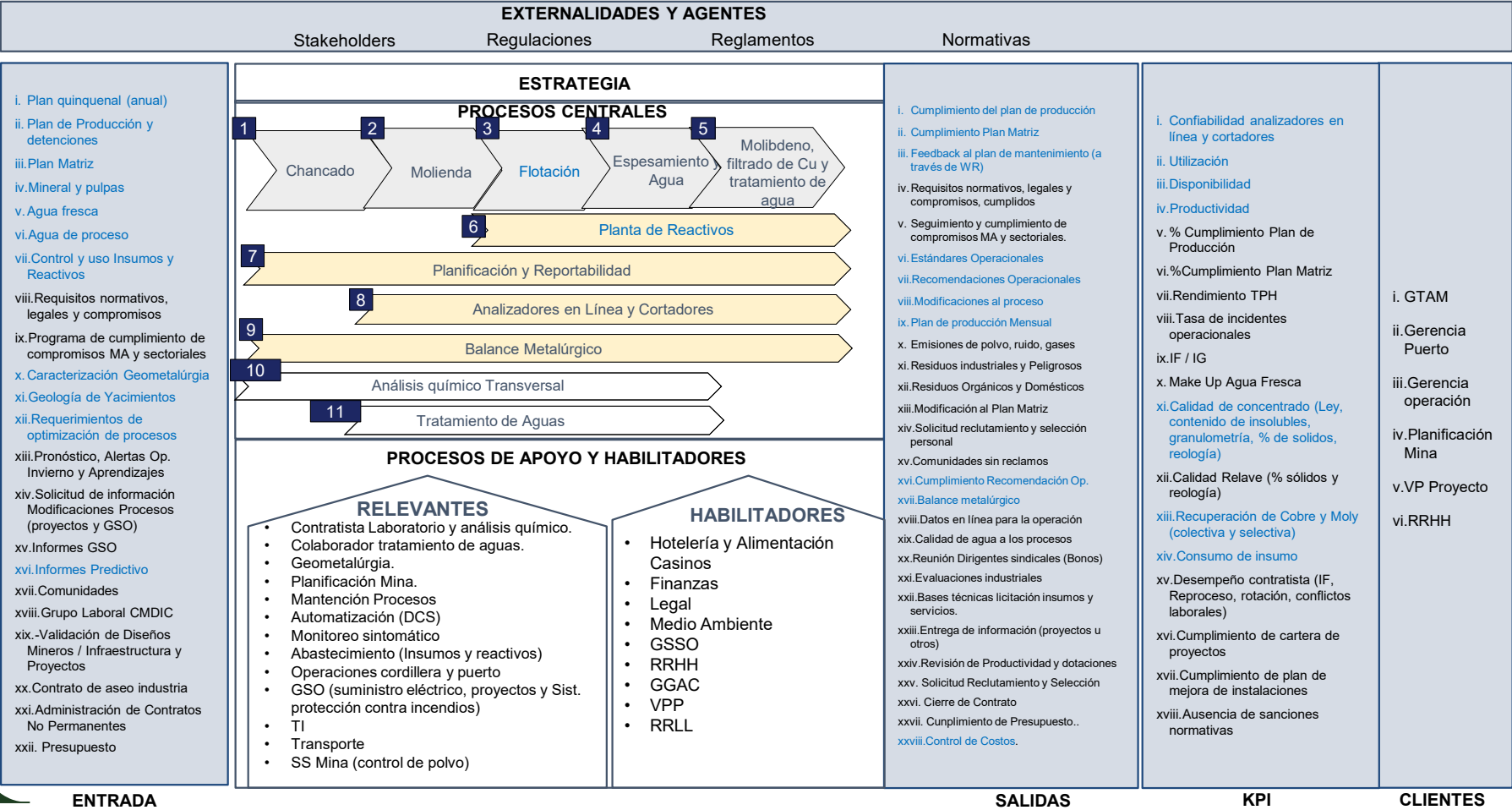


CICLO DE GESTIÓN DE RIESGOS (CGR) CMDIC



MAPA DE PROCESOS GERENCIA METALURGIA Y CONTROL DE PROCESO

OBJETIVOS: Soporte técnico para cumplimiento de los planes de producción de concentrado de cobre y molibdeno, mediante una gestión basada en la Confiabilidad de Activos, y el uso sustentable y óptimo de recursos.



OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo, es lograr en forma sustentable aumentar la eficiencia de los distintos procesos y disminuir los riesgos de estos, a través del CGR y del trabajo en equipo de operaciones, mantenimiento y Metalurgia.

Objetivos Específicos:

- Recuperación de Cobre entre 88 – 94%.
- Recuperación colectiva de Mo entre 70 – 82%.
- Ley de concentrado cobre entre 27 – 29%.
- Concentrados con ley de insoluble < 8% (ideal 100% del tiempo bajo 6%).
- Recuperación selectiva Mo 65 – 80%.
- Estabilidad proceso de espesamiento.
- Eliminar olores asociados al NASH en puerto.
- Bajar de 5% la variabilidad de molienda.
- Ley concentrado de Mo 100% del tiempo sobre 30%.
- Filtrado de 2.000 tpd por filtro.
- Control y optimización del consumo de reactivos e insumos estratégicos. Con esto se debe dar énfasis a control de planta de Cal, control de bolas, automatización en preparación y adición de reactivos.

PLAN ACCIÓN FLOTACIÓN

Modo de Operación Etapa Rougher



- La estrategia de bajar los niveles de las primeras celdas, para favorecer la flotación con aire versus nivel, lo que favorece la recuperación de cobre y disminuyendo la recuperación de insolubles, logrando adicionalmente bajar la recuperación en peso.



- Modificación diseño colección launder.

Bajar pH Etapa Rougher y Limpieza



- Trabajar con pH rougher entre 10,5 a 10,8 y en la limpieza 11,8. lo anterior permite aumentar las recuperación de Cu y Mo, adicionalmente bajar costos y disminuir efectos de minerales alterados.



- Dosificación automática de CAL al proceso.

Modo de Operación Bombas TK1080



- Trabajar con velocidad fija la bomba que alimenta al TK1052, permite optimizar la etapa de limpieza y scavenger de las filas A, B y C al eliminar su variabilidad con la ley o flujos de etapa Rougher . Lo anterior permite aumentar las recuperación de Cu y Mo.

Celdas Columnas



- Trabajar con flujo de aire fijo y solo variable manipulada de nivel de espuma de 40 cm a 100 cm, de tal manera de asegurar la ley de concentrado en Cu ($> 27,5\%$) e insoluble ($< 8,0\%$).



- Adicionalmente trabajar a un nivel menor de pulpa, aporta enviar mayor flujo de alimentación a las celdas columnas por la presión hidrostática.



- Modificar el diseño de colección de espuma parecido al concepto de las radiales.

PLAN ACCIÓN FLOTACIÓN

Amperaje Vertimill



- Trabajar a un amperaje entre 150 a 160 Amp, permite bajar la carga circulante de esta etapa del proceso (hidráulica), disminuyendo la carga hacia TK 1071, disminuyendo el desgaste de los VTM's, mejorando la liberación de los SCu, Mo y niveles de Insoluble., de manera de mejorar la calidad de ConCol a puerto.

Batería de Hidrociclones (BHC) Vertimill



- Mejorar evacuación de over de bacterias de ciclones 5 y 6, para operar con los ciclones requeridos de tal manera de lograr el producto necesario para vertimill y celdas columnas.

Proyecto Celdas Neumáticas Jameson



- Este Proyecto permite aumentar la recuperación colectiva de Molibdeno en 6% a 10%, por lo tanto, aumentando la ley de Mo en el concentrado, lo cual aumentara la recuperación colectiva y Selectiva.

Modo de Operación Primera Limpieza



- Definir estrategia que permita generar un mejor índice de enriquecimiento y bajas colas scavenger, considerando las distas configuraciones de bancos, (ejemplo limpieza 6, 5L - 4B; Limpieza 7, 3L - 6B; Limpieza ABC, 4L - 5B. Lo que permitirá disminuir recirculaciones innecesarias y mejor ley de concentrado final.



- Modificar evacuación celdas primera limpieza que evite derrame por ahogo de cañería (falta venteo o cambio a canaleta).

PLAN ACCIÓN FLOTACIÓN

Transferencia de Mejores Prácticas y Cierre de Brechas



- Análisis de las variables relevantes, con su medición de la operación en el rango definido, en el tiempo y comparación entre grupos de estas variables (ejemplo: pH (rougher y cleaner), flujo de Aire, flujo de Agua y nivel de espuma), para transmitir las practicas operacionales a través de modificaciones de los instructivos. Con lo anterior cerrar brechas entre grupos.

Reactivos, Preparación, Automatización, Dosificación y Alternativa



- Automatizar la preparación de Xantato y bajar la concentración de 18 - 14%, permite generar menos borras y por consiguiente aumentar la disponibilidad de dosificación de colector, disminuyendo la variabilidad en recuperación y aumento de esta.



- Proyecto de dosificación de Reactivos, permite poder absorber en forma instantánea las variabilidad del proceso y optimiza sus beneficios, que implica eliminar o mitigar los impactos de recuperación.



- Cambio en dosificación de espumante de 5 - 8 gpt a 10 - 20 gpt, pues el espumante utilizado en CMDIC requiere mayor dosis para lograr el objetivo de mantener el tamaño de burbuja en aproximadamente 1mm (distribución de tamaño), manteniendo el área efectiva para el contacto con el material de interés y evitar la coalescencia de las burbujas.



- Prueba de mezcla de nuestro espumante (mayor cinética) con máximo 5% glicol, para aumentar capacidad de carga (lograr llevar a rebose las partícula de mayor tamaño) y persistencia dado nuestro mayor tiempo de residencia (permite mantener espuma estable a las ultimas celdas de etapa rougher y etapa de limpieza).



- Búsqueda de reactivos alternativos al Xantato.

PLAN ACCIÓN FLOTACIÓN

Plan Maestro Flotación Colectiva



- Plan de mejoras al proceso.
- Muestreo global planta, muestreo cinético.
- Modelo de Flotación.

Cortadores Metalúrgicos



- Instalación y operatividad de cortadores metalúrgicos de cabeza 24 celdas.
- Instalación y operatividad de cortadores metalúrgicos en concentrado final.
- Instalación y operatividad de cortadores metalúrgicos de relave final.

Analizador de Leyes en Línea

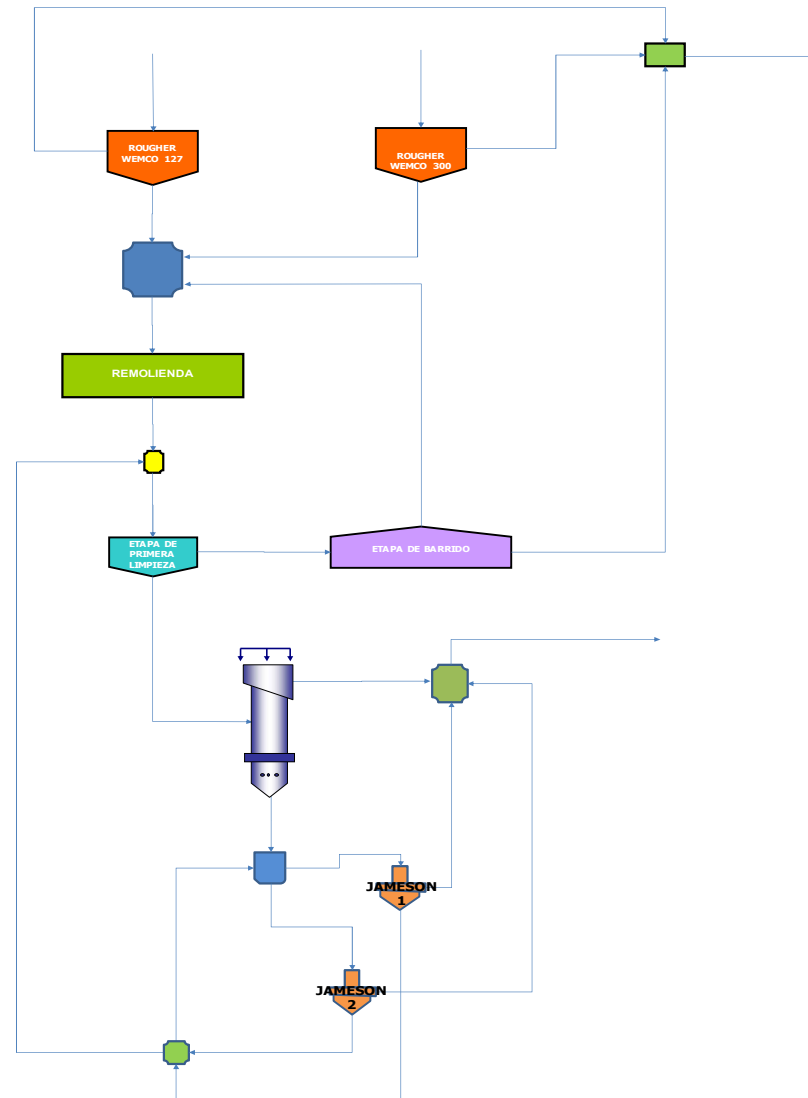


- Instalación y operación de analizador de leyes en línea.

ÍNDICE

- Circuito Planta Flotación Colectiva
- Dosificación de Reactivos
- Estrategia Operacional y Equipos
- Resultados

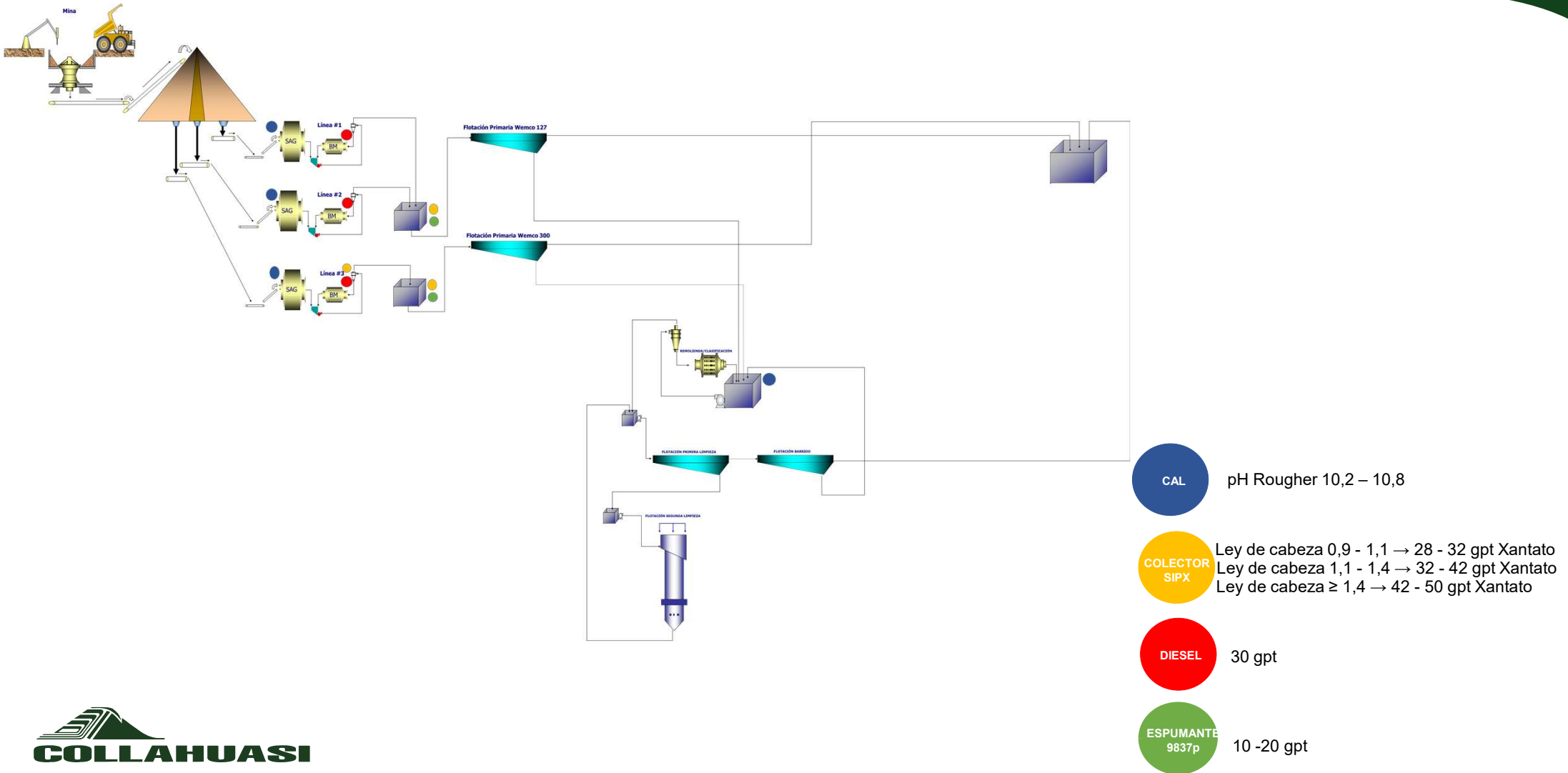
CIRCUITO ACTUAL PLANTA FLOTACIÓN COLECTIVA



ÍNDICE

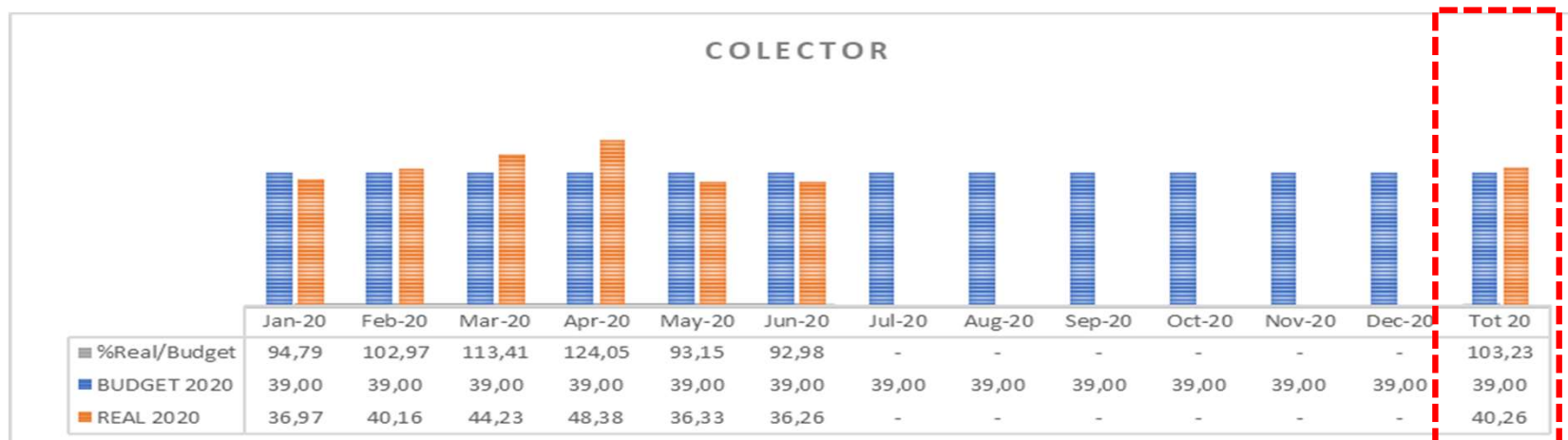
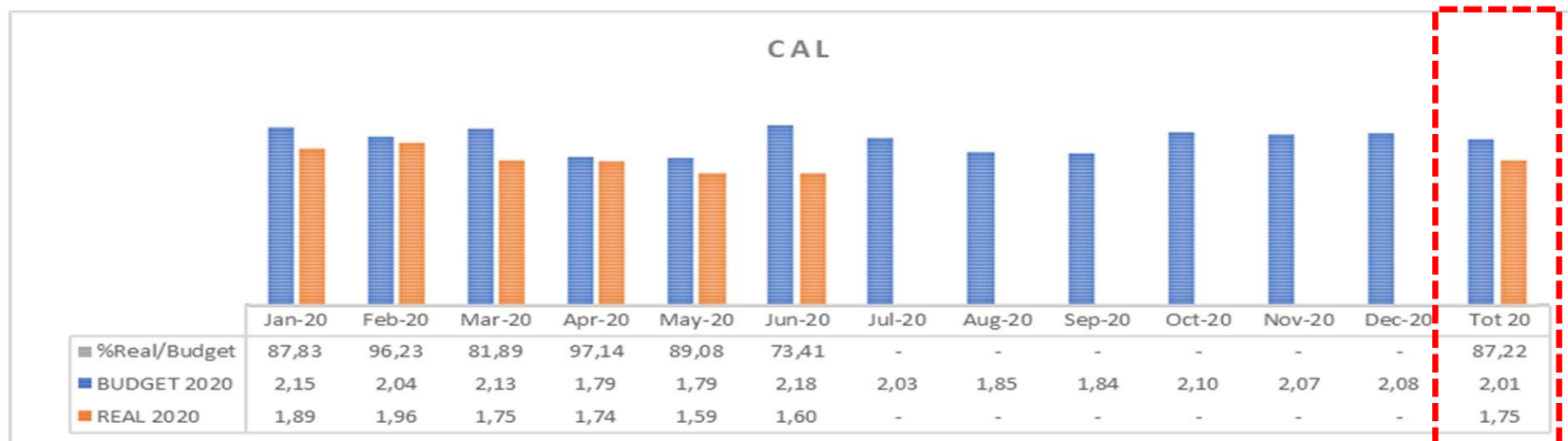
- Circuito Planta Flotación Colectiva
- Dosificación de Reactivos
- Estrategia Operacional y Equipos
- Resultados

Selección de Reactivos y puntos de Adición



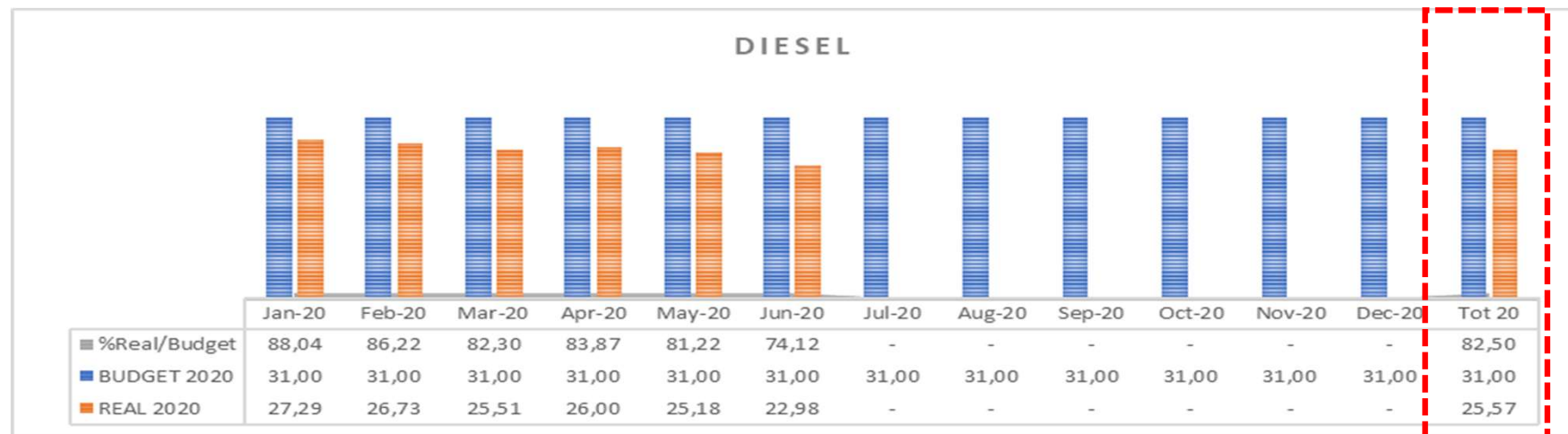
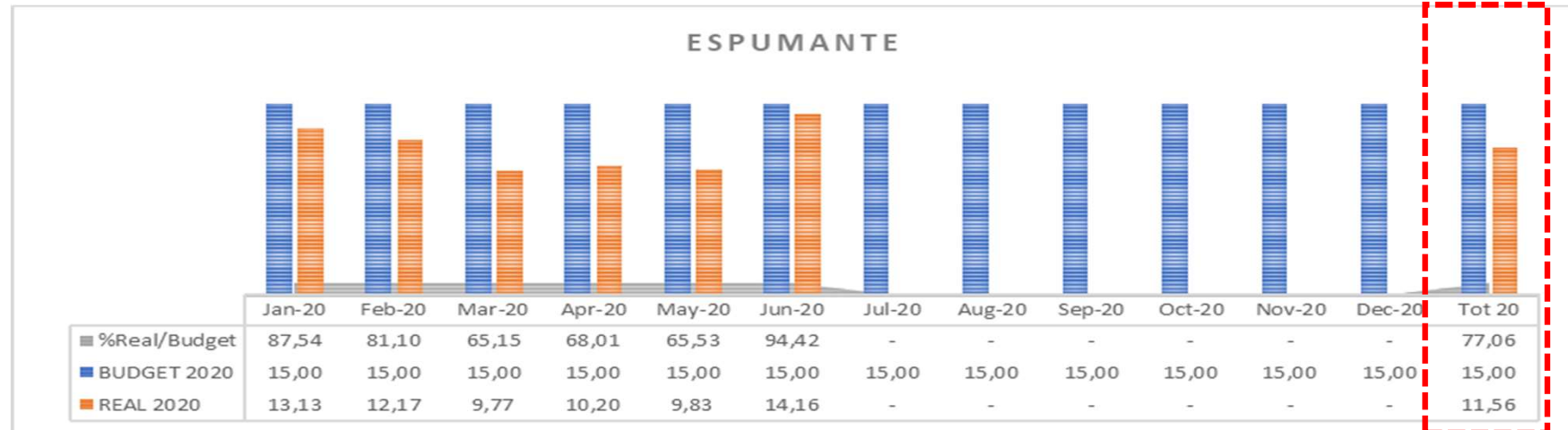
REACTIVOS FLOTACIÓN COLECTIVA

Consumo Específico de Cal y Colector SIPX



REACTIVOS FLOTACIÓN COLECTIVA

Consumo Específico de Espumante y Diesel



ÍNDICE

- Circuito Planta Flotación Colectiva
- Dosificación de Reactivos
- Estrategia Operacional y Equipos
- Resultados

ESTRATEGIA OPERACIONAL

pH Rougher, Cleaner y Scavenger

Carta de control del modo de operación proceso flotación.

- pH Rougher:** Límite Alto sólo cuando Razón Fe/Cu sea alta. Para el caso de Razón Fe/Cu $\leq 3,5$ los valores de pH Rougher debe encontrarse en un rango de 10,5 – 10,6. En la etapa de Limpieza debe encontrarse en 11,6 de pH.

	pH Rougher	pH Limpieza
Límite Bajo	10,6	11,80
Límite Alto	10,9	12,00

Condición	Razón [Fe/Cu]	Factor K	Contenido As [ppm]	pH Rougher & Limpieza	Dosif. Xantato [gpt]	Dosif. Espumante [gpt]	Nivel Pulpa Rougher [%]	Nivel Celdas [%] Limpieza	Nivel Celdas [%] Barrido	Agua Lavado Columnas [m3/h]	Flujo Aire Columnas [Nm3/h]	Nivel Espuma Columnas [cm]
1	↓	↓	↓	LB	LB	13-15	60-65	S	R	70	600	80-100
2	↑	↓	↓	LA	LB	13-15	70-75	S	R	80	600	80-100
3	↑	↓	↑	LA	LB	13-15	65-70	S	R	100	600	80-100
4	↓	↓	↑	LB	LB	13-15	60-65	N	R	100	600	80-100
5	↓	↑	↑	LB	LB	15-18	65-70	R	R	100	600	60-80
6	↓	↑	↓	LB	LB	15-18	70-75	R	R	60	600	60-80
7	↑	↑	↓	LA	LB	15-18	60-65	S	R	100	600	60-80
8	↑	↑	↑	LA	LB	15-18	60-65	S	R	100	600	60-80

$\leq 3,5$



$> 3,5$



$\leq 4,5$



$> 4,5$



≤ 250



> 250



Límites:

LA: Límite Alto,
Ro= 10,8 L=12,1

LB: Límite Bajo
Ro= 10,5, L=11,6

Nivel pulpa Limpieza:

Selectivo [S] = 40-50%

Normal [N] = 50-60%

Recuperativo [R] = 60-80%

Nivel pulpa Barrido:

Selectivo [S] = 40-50%

Normal [N] = 50-60%

Recuperativo [R] = 80-90%

ESTRATEGÍA OPERACIONAL

Número de Equipos a Operar

TABLA OBTENIDA

Flujo Alim Planta [TP 7.022

Ley Cu Alim [%]: 1,55

Ley Mo Alim [PPM] 341

ITEM		ETAPAS FLOTACIÓN [min]				Nro. Equipos	
		ROUGHER	LIMPIEZA	SCAVENGER	COLUMNAR	VERTIMILL	COLUMNAR
CASO 1	FILAS A Y B	37,96	14,39	35,72	16,46	4	9
CASO 2	FILAS 6 Y 7	37,96	11,43	28,35	16,46	4	9
CASO 3	FILAS 6 Y A	37,96	14,34	32,77	16,46	4	9
CASO 4	FILAS 6 Y A - B	37,96	21,54	47,05	16,46	4	9
CASO 5	FILAS A - B - C	37,96	21,59	53,57	16,46	4	9
CASO 6	FILAS 6-7 Y A	37,96	18,62	46,21	16,46	4	9

DETERMINACIÓN DE OPERACIÓN EQUIPOS VTM

CEE [kWh/t]_DISEÑO	2,50
POTENCIA INSTALADA/VTM [kW]	933
N° VTM EN PLANTA	7
POTENCIA INSTALADA/TOTAL [kW]	6.531
TRATAMIENTO DISEÑO [TPH_RO]	2.612
TRATAMIENTO REAL [TPH_RO]	660
N° EQUIPOS NECESARIOS	4

ESTIMACIÓN NUMERO DE COLUMNAS

Rendimiento efectivo	7.022	[tph]
Ley Alimentación	1,55	%
Ley Concentrado	28,07	%
Ley Cola	0,14	%
Rec Peso	5,04%	
Rec Cu	91,14%	
Flujo Concentrado Final	354	[tph]
Sección transversal Columnar	16,0	[m²]
Capacidad Remoción por Columna	40	[tph]

N° Columnas Recomendadas	9
--------------------------	---

Estimación Carrying Capacit

0,035	Constante
0,6	Factor Ajuste
58	D ₈₀ [μm]
4,1	G. Específica

2,5 Carrying [ton/(hr x m²)]

ESTRATEGÍA OPERACIONAL

Set Point Tamaño Remolienda, Filosofía de Control y Estabilidad

1.1 Clasificación y Remolienda de Concentrados

En esta etapa se alimenta el concentrado Rougher y concentrado Scavenger. El producto de la remolienda alimenta la flotación de primera limpieza. Los principales parámetros que deben controlarse son:

Parámetro	Unidades	Mínimo	Estándar	Máximo
Granulometría overflow	% -325#	72	75	78
Porcentaje sólidos overflow	%	18	20	25
Corriente molinos remolienda	Amp	140	165	170
Potencia molinos remolienda	kW	665	790	820
Presión baterías remolienda	PSI	10	12	15

1.1.1 Acciones para controlar granulometría del concentrado final (% - 325#)

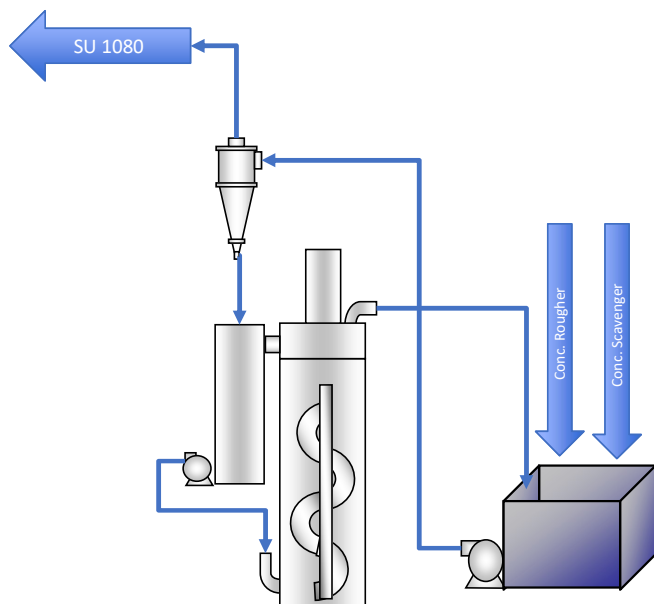
Si es > estándar se generan pérdidas por exceso de finos:

- Ajustar presión de batería de ciclones a los valores mínimos, abriendo ciclones.
- Verificar corriente de molinos de remolienda (vertimill), si es > a 175 Amp. aislar un molino.

Si es < estándar:

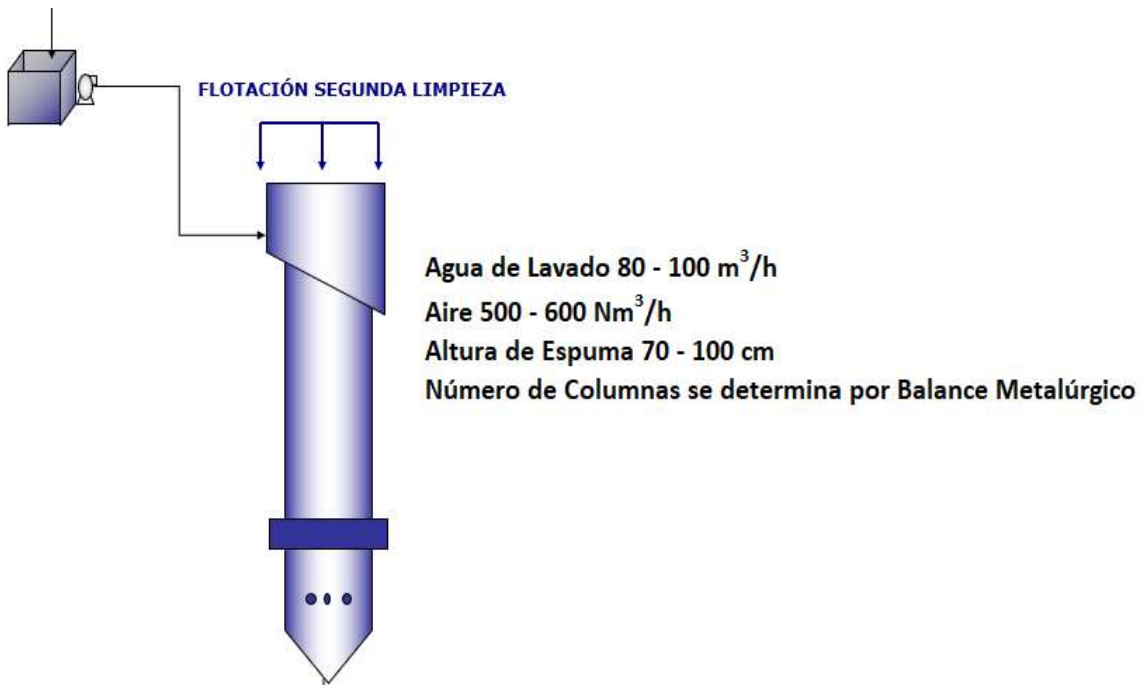
- Chequear granulometría de todos los overflow de las baterías en remolienda, mediante controles manuales.
- Detectar ciclones con underflow tapados o ciclones acordonados.
- Ajustar presión de las baterías a valores máximos recomendado, cerrando ciclones (22 PSI).

Chequear corriente de los molinos de remolienda. Si es < 160 Amper, ajustar a valores ≥ 160 Amp con carga extra de bolas.



ESTRATEGÍA OPERACIONAL

Columnas



$$CC1 = \frac{\text{Cola Columna}}{\text{Concentrado Rougher}} \times 100$$

$$CC2 = \frac{\text{Cola Scavenger}}{\text{Concentrado Rougher}} \times 100$$

	Carga Circulante		
	Másica	Cu	Mo
CC1	76,0%	113,5%	557,3%
CC2	54,9%	17,6%	108,1%

No hay una estrategia operacional basada en la carga circulante, dado la variabilidad de ésta dependiendo el tipo de circuito utilizado, sin embargo, la carga circulante es calculada mediante balances metalúrgicos.

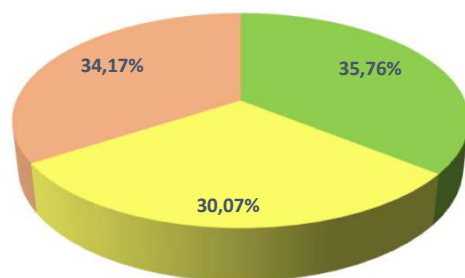
TIEMPOS DE RESIDENCIA FLOTACIÓN COLECTIVA

	ETAPAS FLOTACIÓN			
	ROUGHER	LIMPIEZA	SCAVENGER	COLUMNAR
T DISEÑO [min]	30	15	35	15
T REAL [min]	34 - 38	18 - 22	34 - 45	12 - 20

ESTRATEGIA DE CONTROL PROCESO

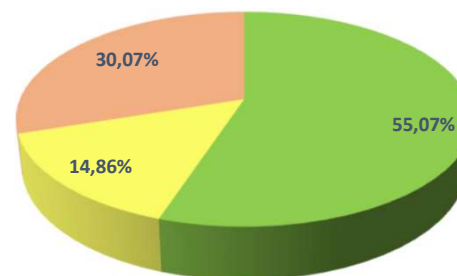
Operación Dentro de Rango / Control pH Etapas Rougher y Limpieza (Octubre 2019)

Cumplimiento pH Rougher Wemco 127



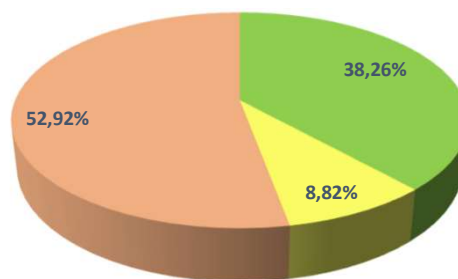
■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

Cumplimiento pH Rougher Wemco 300



■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

Cumplimiento pH Limpieza

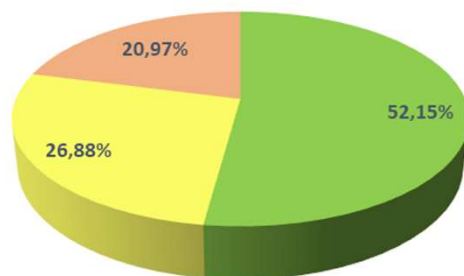


■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

ESTRATEGIA DE CONTROL PROCESO

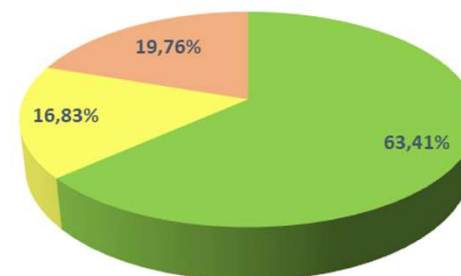
Operación Dentro de Rango / Control pH Etapas Rougher y Limpieza

Cumplimiento pH Rougher Wemco 127



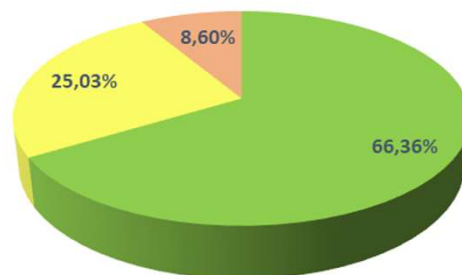
■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

Cumplimiento pH Rougher Wemco 300



■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

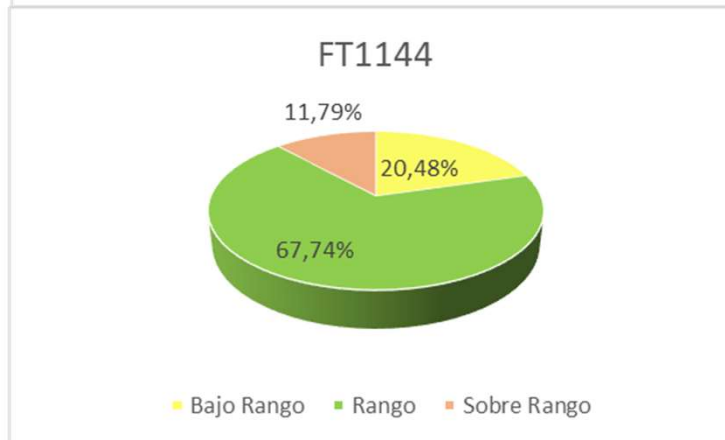
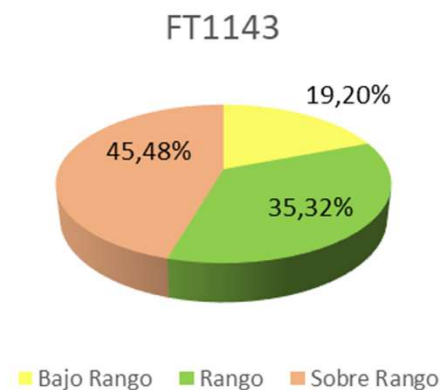
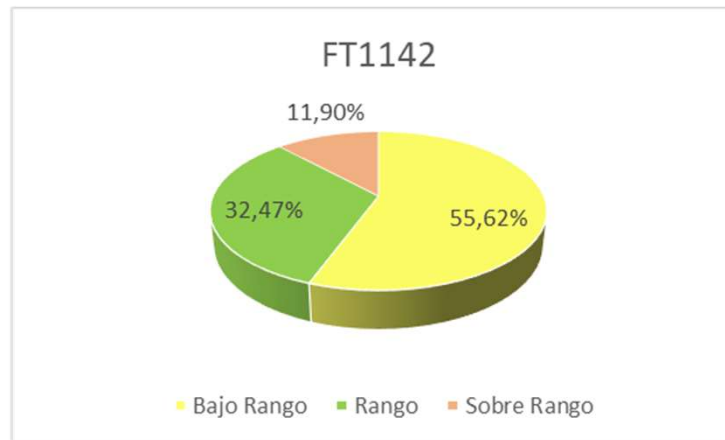
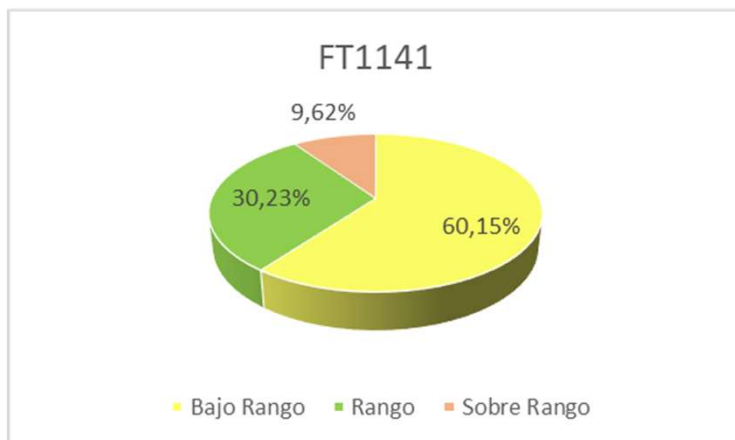
Cumplimiento pH Limpieza



■ Rango ■ Bajo Rango ■ Sobre Rango

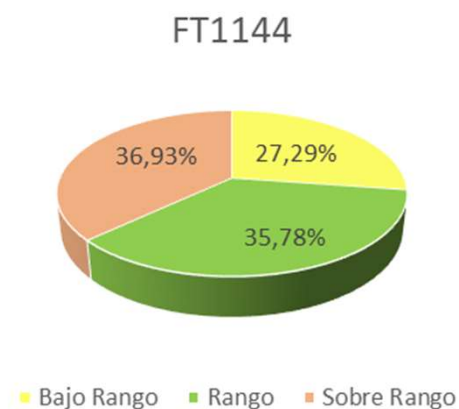
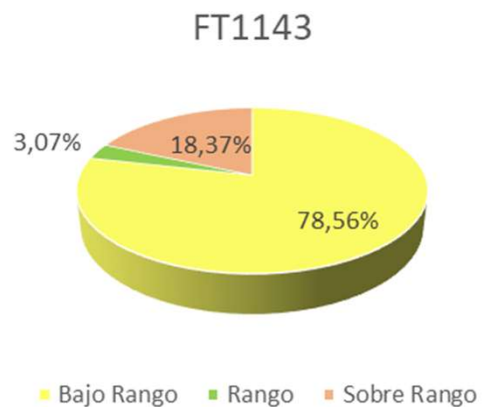
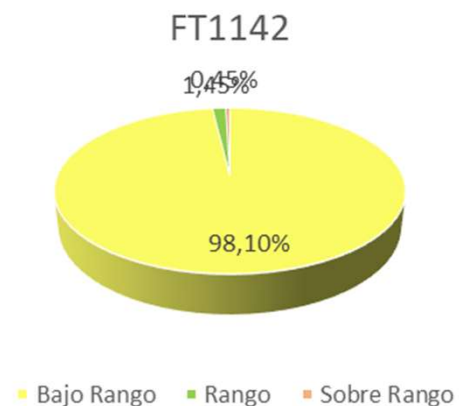
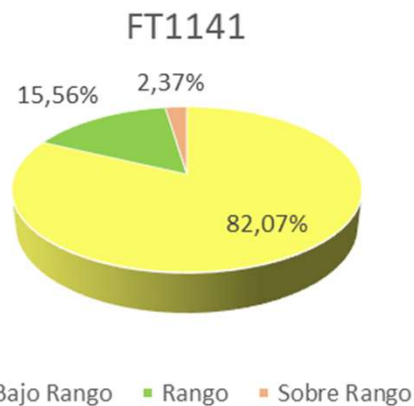
ESTRATEGIA DE CONTROL PROCESO

Operación Dentro de Rango / Control Flujo de Agua en Columnas



ESTRATEGIA DE CONTROL PROCESO

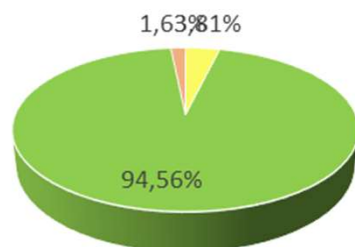
Operación Dentro de Rango / Control Nivel de Espuma en Columnas



ESTRATEGIA DE CONTROL PROCESO

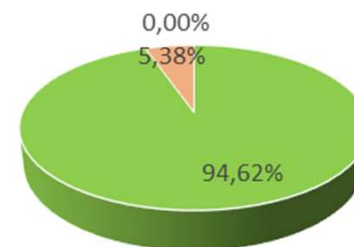
Operación Dentro de Rango / Control Nivel de Espuma en Columnas

FT1141



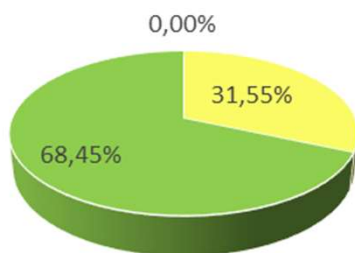
■ Bajo Rango ■ Rango ■ Sobre Rango

FT1142



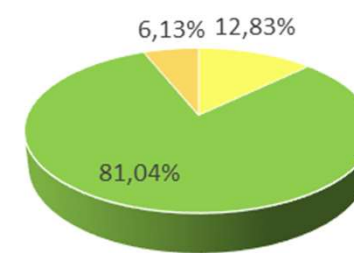
■ Bajo Rango ■ Rango ■ Sobre Rango

FT1143



■ Bajo Rango ■ Rango ■ Sobre Rango

FT1144



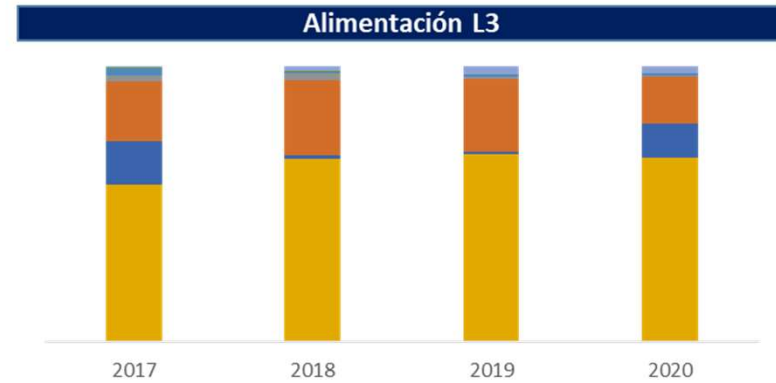
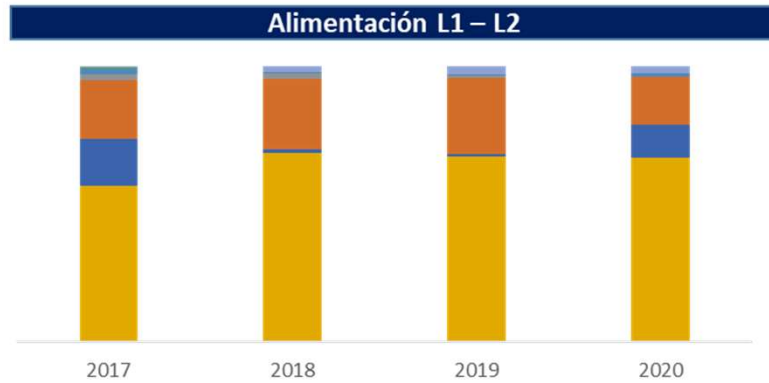
■ Bajo Rango ■ Rango ■ Sobre Rango

ÍNDICE

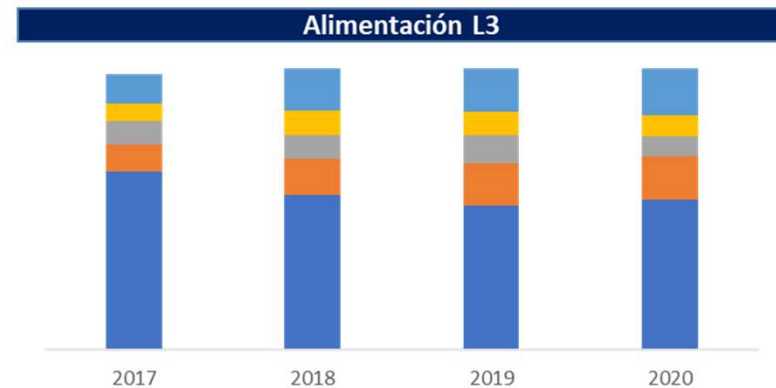
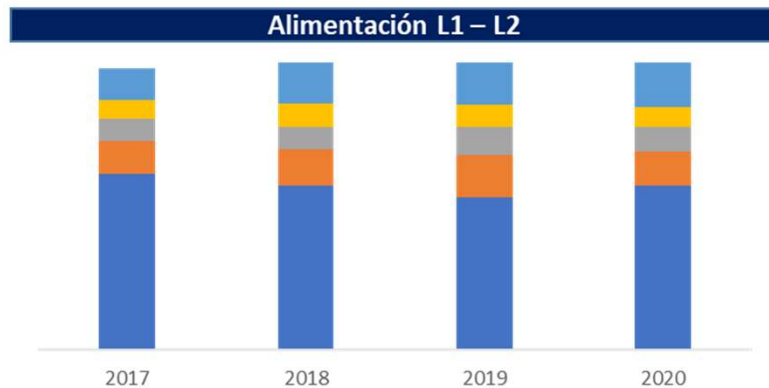
- Circuito Planta Flotación Colectiva
- Dosificación de Reactivos
- Estrategia Operacional y Equipos
- Resultados

MINERALOGÍA

Participación Modal Sulfuros de Cobre – Flujo de Alimentación



■ Chalcopyrite ■ Bornite ■ Chalcocite/Digenite ■ Covellite ■ Enargite/Tennantite ■ Tetrahedrite ■ Other

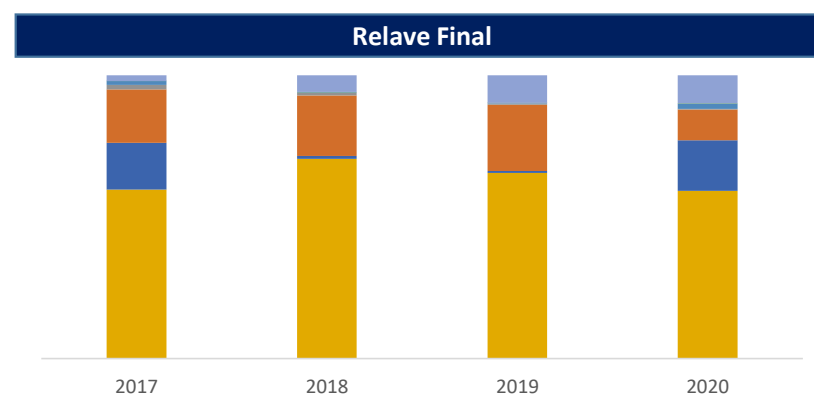
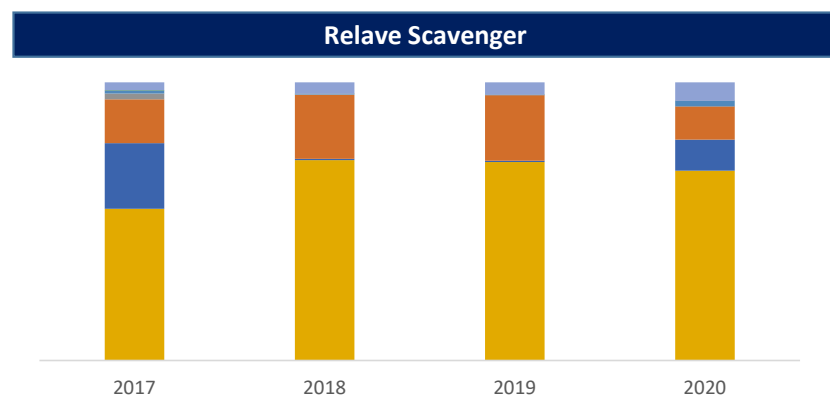
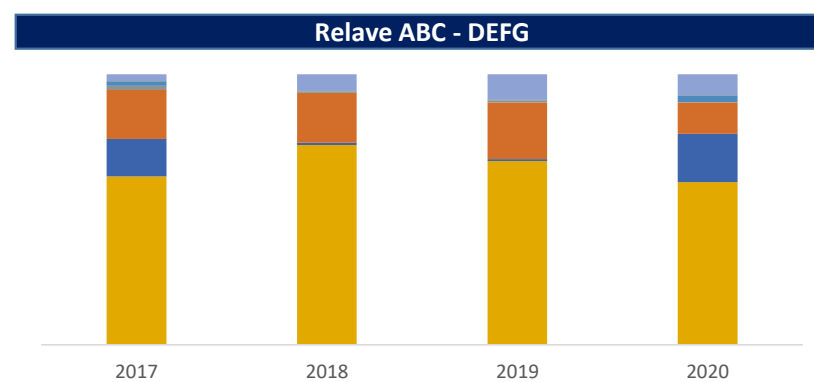
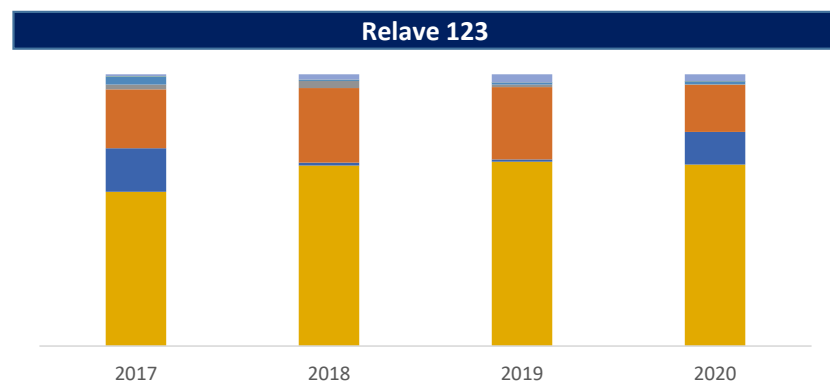


■ Free Total Cu Sulphides ■ Liberated Total Cu Sulphides > 80%
 ■ Total Cu Sulphides Mid > 50% ■ Total Cu Sulphides Sub-Mid > 20%
 ■ Total Cu Sulphides Locked

MINERALOGÍA

Pérdidas Sulfuros de Cobre – Flujo de Relave, Rougher, Scavenger y Final

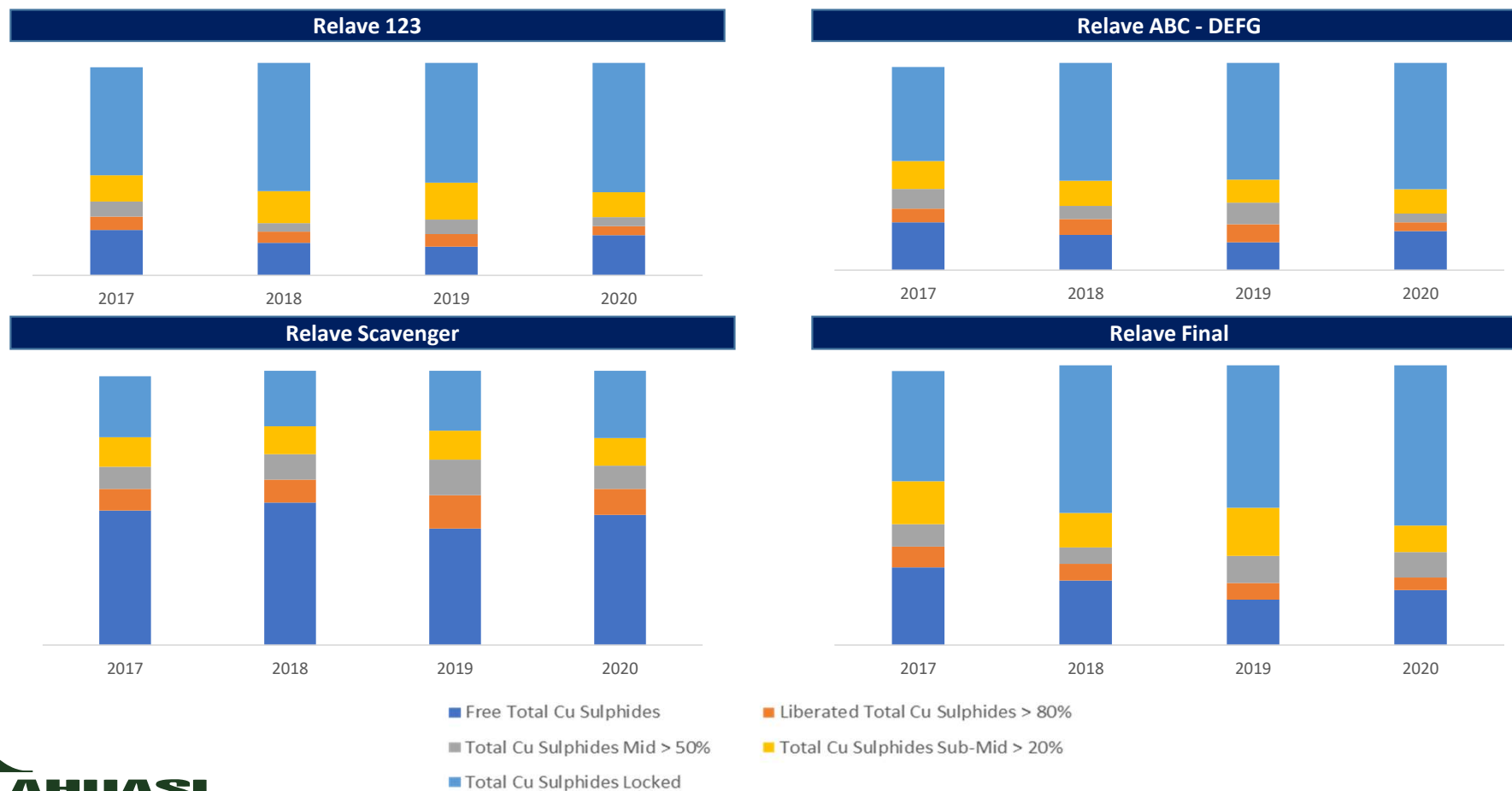
Durante los últimos años la participación de Bornita no ha cambiado en forma importante, siendo la calcopirita la especie predominante (pero en menor grado respecto a años pasados), al igual que Calcosina y Enargita. No se evidencia diferencias de pérdidas en los distintos flujos de relaves planta.



MINERALOGÍA

Pérdidas de liberación Sulfuros de Cobre – Flujo de Relave, Rougher, Scavenger y Final

Las principales pérdidas de SCu por concepto de liberación, se atribuye a materiales para los diferentes flujos de relaves planta.

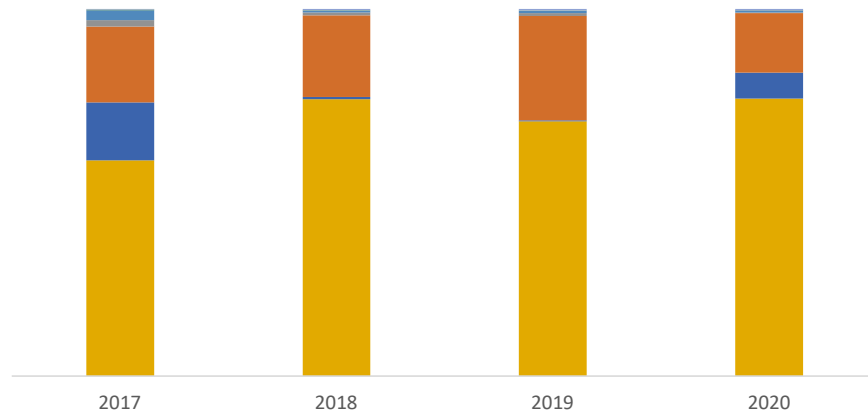


MINERALOGÍA

Análisis Modal y Liberación Sulfuros de Cobre en Concentrado Colectivo

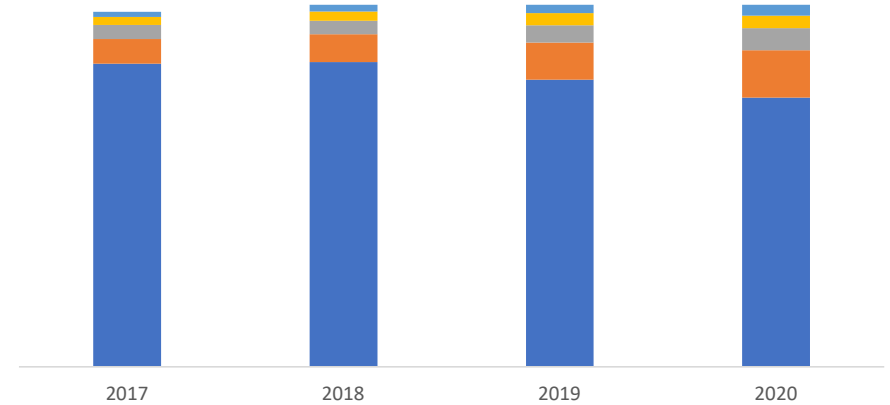
Los SCu en el concentrado colectivo, indican presencia mayoritaria de calcopirita y en menor grado de calcosina. Respecto al grado de liberación, los SCu se encuentra mayoritariamente liberadas (> 80%).

Concentrado Colectivo - Mineralogía



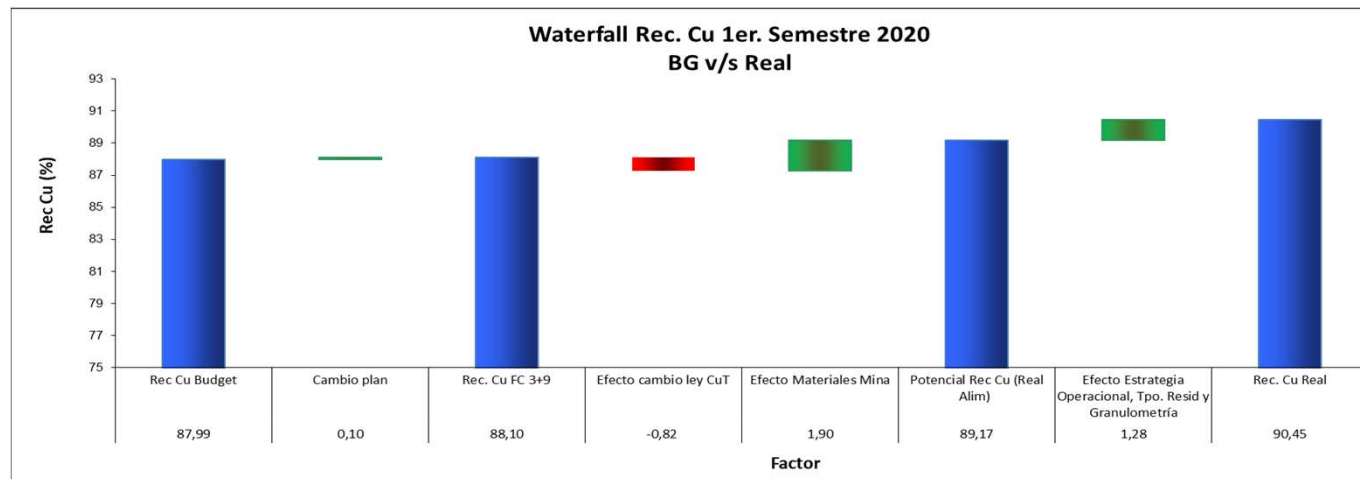
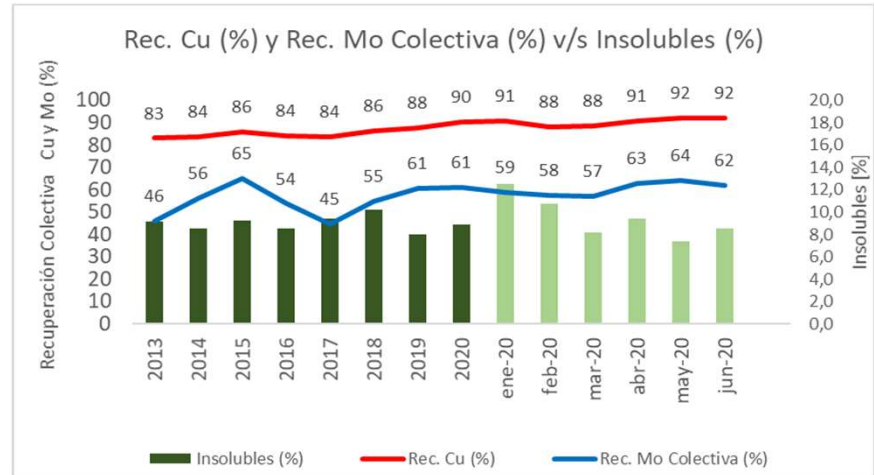
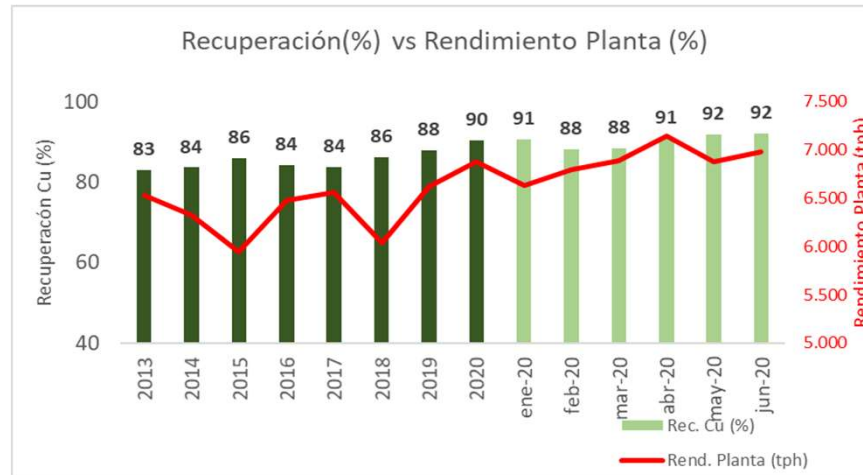
■ Chalcopyrite ■ Bornite
■ Chalcocite/Digenite ■ Covellite
■ Enargite/Tennantite ■ Tetrahedrite
■ Other

Concentrado Colectivo - Liberación



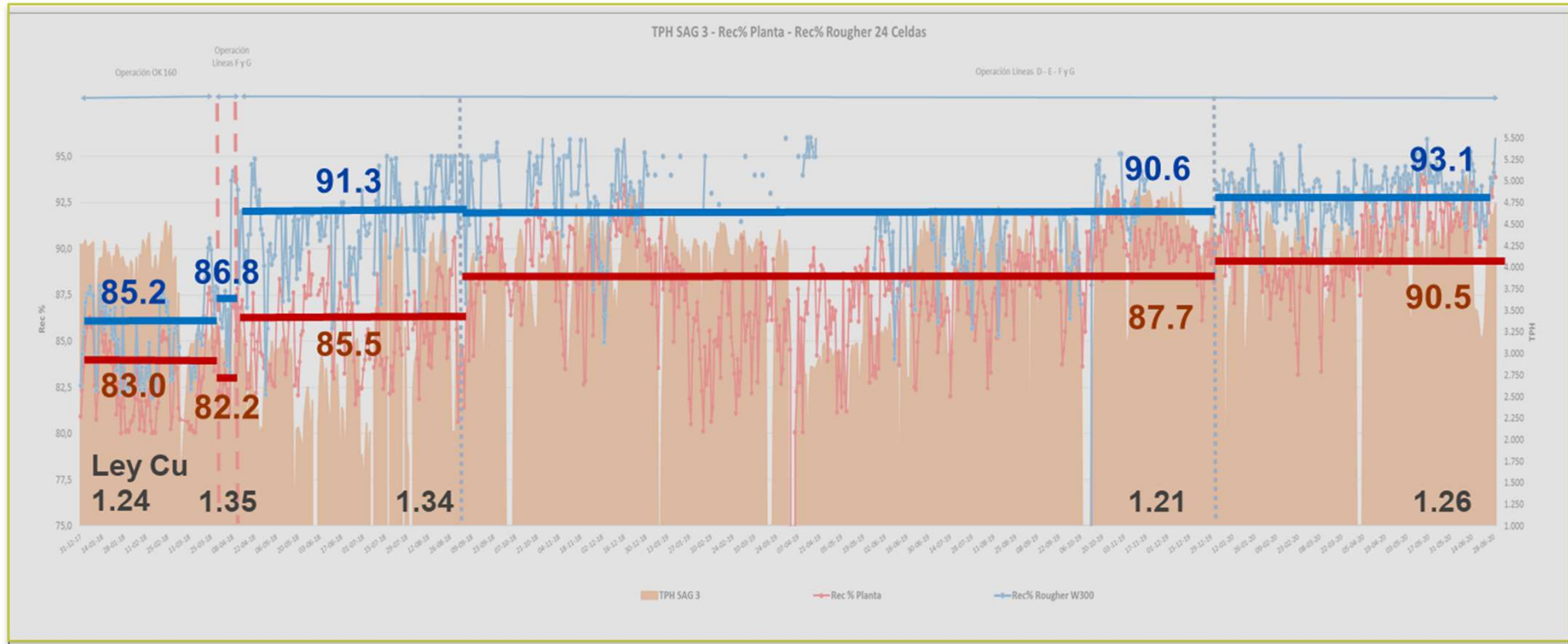
■ Free Total Cu Sulphides ■ Liberated Total Cu Sulphides > 80%
■ Total Cu Sulphides Mid > 50% ■ Total Cu Sulphides Sub-Mid > 20%
■ Total Cu Sulphides Locked

DESEMPEÑO CIRCUITO FLOTACIÓN COLECTIVA Cu/Mo



COMPORTAMIENTO FLOTACIÓN GLOBAL: NEGOCIO Cu

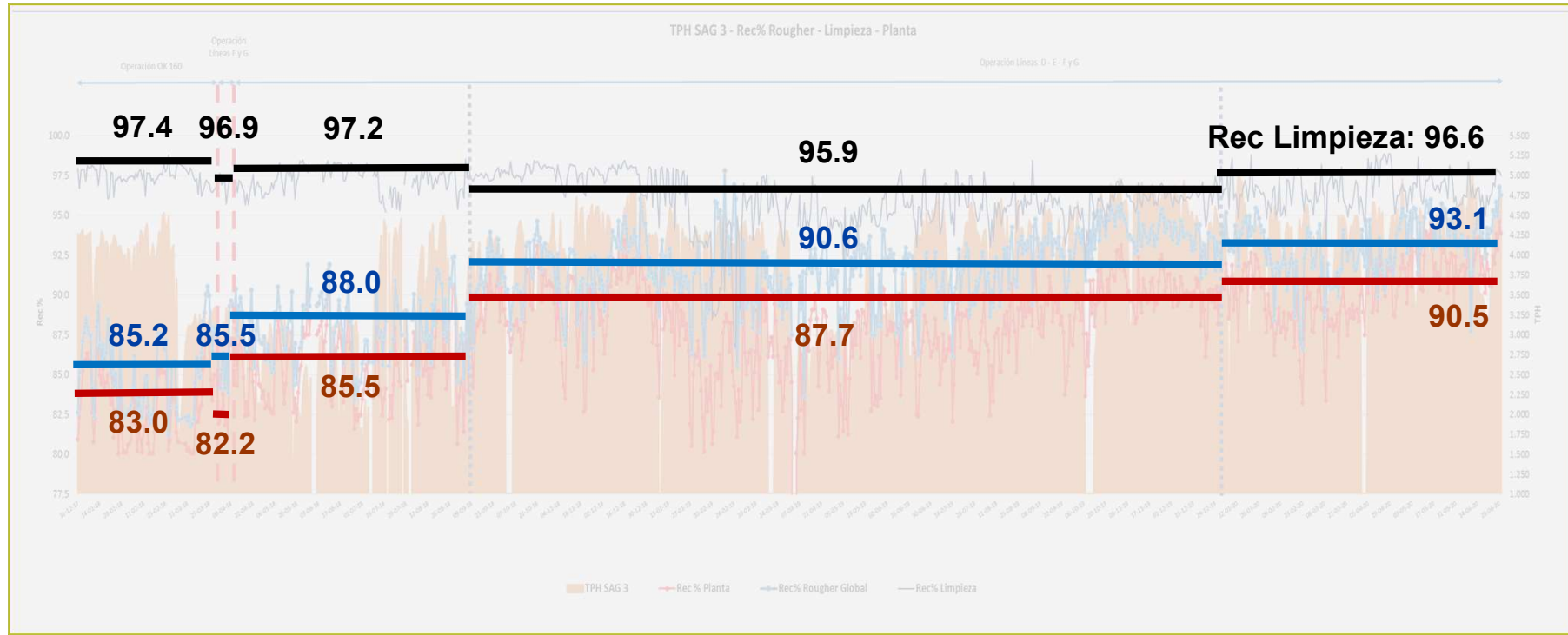
31-12-2017 / 30-06-2020



Promesa de Negocio: Incremento de Rec. Cu global planta, debido a incorporación de circuitos Rougher WEMCO 300, Celdas JAMESON y estrategia operacional impulsada por la Gerencia de Operaciones, Metalurgia y ley de alimentación.

COMPORTAMIENTO ETAPA DE FLOTACIÓN ROUGHER: NEGOCIO Cu

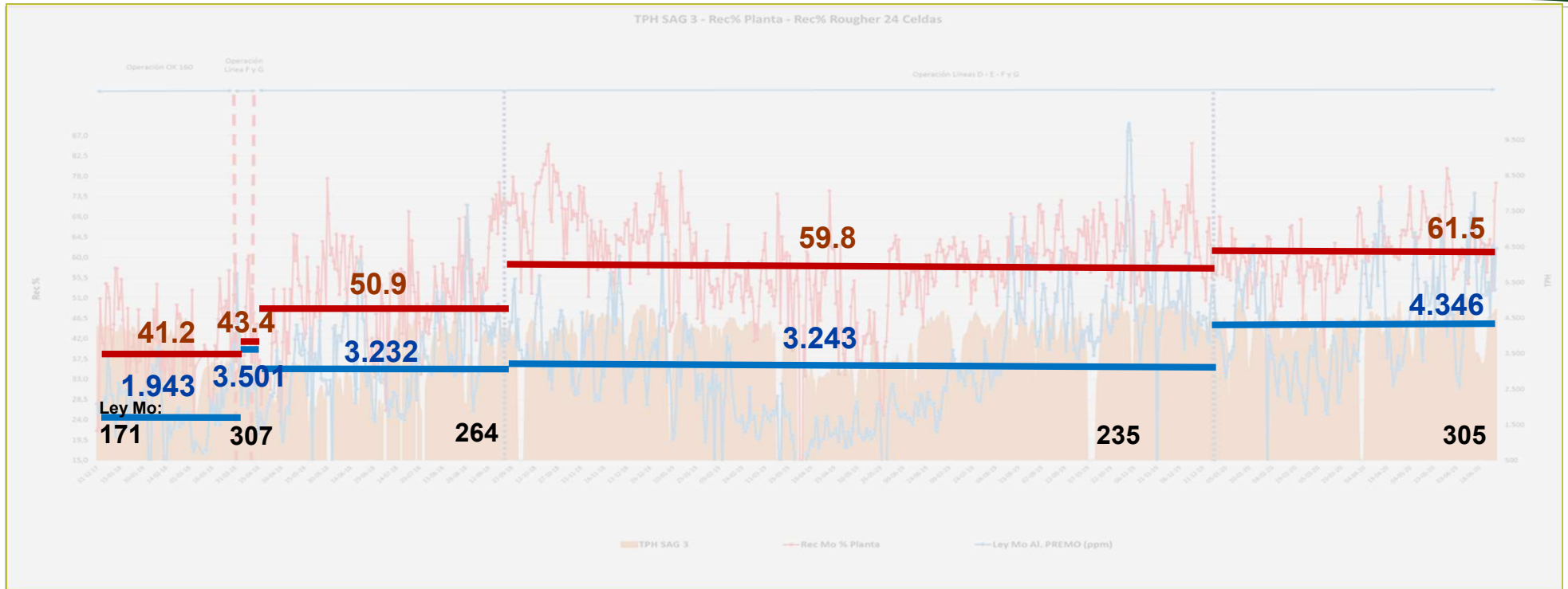
31-12-2017 / 30-06-2020



- La Rec. Cu de la Etapa Rougher global (WEMCO 127 + WEMCO 300), se ha visto incrementada, debido a la incorporación del circuito WEMCO 300.
- A pesar de la leve baja en Rec. Cu de la etapa Limpieza, el resultado global del negocio se ha visto favorecido en el primer semestre 2020.

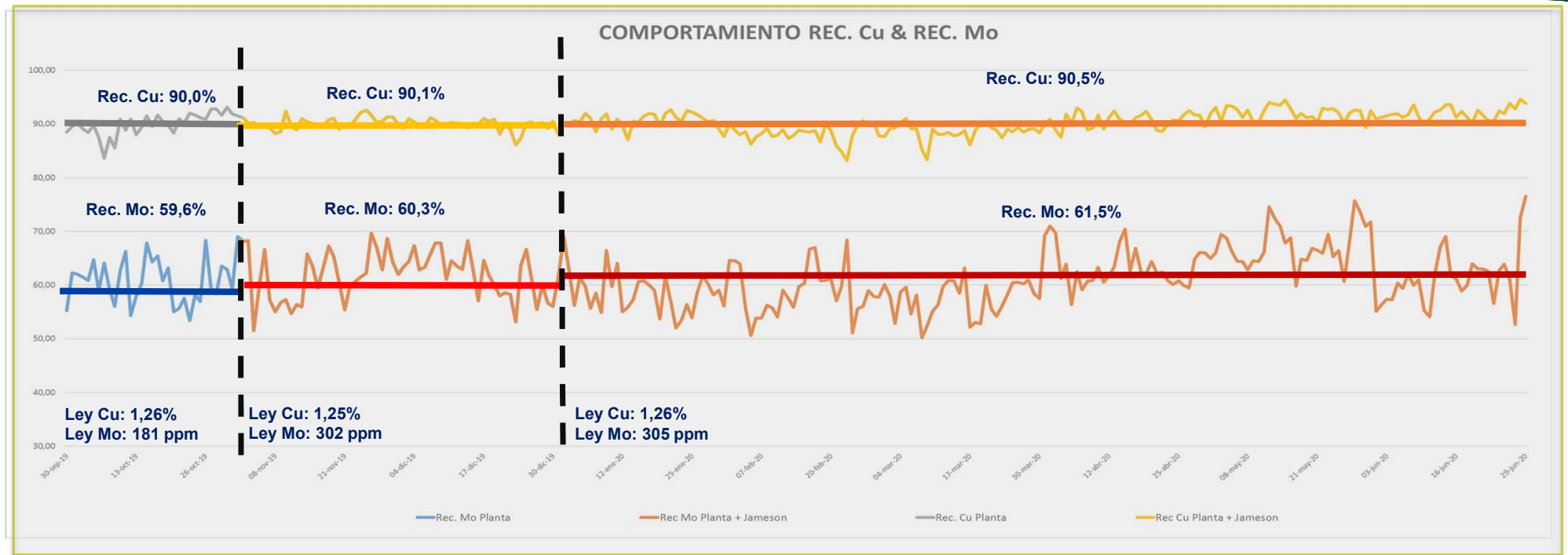
COMPORTAMIENTO FLOTACIÓN GLOBAL: NEGOCIO Mo

31-12-2017 / 30-06-2020



- En el caso de los índices de Mo, se destaca el incremento de éstos, a partir de la incorporación de los circuitos WEMCO 300 y Celdas JAMESON.
- Cambio en la estrategia operacional de planta impulsada por la Gerencia de Metalurgia y Operaciones, la cual consideró la disminución de los pH's en las etapas Rougher y Limpieza.

COMPORTAMIENTO REC. Cu & REC. Mo



- Para el caso de Rec. Mo, el valor acumulado presenta un incremento de 1,9 puntos porcentuales, debido a mayor ley de Mo alimentada y gestión operacional. Es importante mencionar que el gran problema que presentan las celdas JAMESON esta asociado a la operación de downcomers.
- Como comportamiento individual respecto a celdas columnares, las Celdas JAMESON presentan una Rec. Mo más alta, lo cual aportó en un mayor grado este índice.



Consultas

Gracias



“FLOTACIÓN DE MINERALES DE COBRE ”
31 de julio de 2020
IMetChile agradece a sus auspiciadores

