

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad De Ingeniería Geológica
Minera y Metalúrgica



**“Relleno en Pasta Utilizado en la Mina
Iscaycruz”**

INFORME DE INGENIERIA

Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO DE MINAS

Presentado por:

LUIS ALBERTO VILLEGAS LANDA

LIMA- PERÚ
2006

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposa Indira por su apoyo incondicional en todo momento, a mis hijos Kenny y Antuanet por representar mi mayor tesoro e inspiración en mi vida y a mis padres Rosalino y Zenobia por haberme brindado lo mejor de ellos en mi formación.

Un reconocimiento a las enseñanzas recibidas en mi hogar y en mi alma mater que me formaron como profesional.

INDICE

1. Resumen, Yacimientos.....	Pág. 4
2. Método de Minado.....	Pág. 7
3. Relleno en Pasta.....	Pág. 9
4. Características del relleno en pasta.....	Pág. 10
5. Diseño, Componentes.....	Pág. 11
6. Muestras del agua del relave.....	Pág. 12
7. Relave.....	Pág. 12
8. Floculante Praestoll.....	Pág. 13
9. Parámetros de control.....	Pág. 13
10. Cálculos de los requerimientos de resistencia.....	Pág. 15
11. Porcentaje de sólidos vs. Tiempo de resistencia.....	Pág. 16
12. Selección de la granulometría.....	Pág. 19
13. Incremento de resistencia.....	Pág. 20
14. Resultados.....	Pág. 21
15. Planta de relleno en pasta.....	Pág. 21
16. Descripción general.....	Pág. 21
17. Detalle de la Planta de Pasta.....	Pág. 22
18. Equipos.....	Pág. 22-30
19. Evolución del mejoramiento del Planta de Pasta.....	Pág. 31
20. Proceso de funcionamiento de la Planta de Pasta.....	Pág. 31-33
21. Conclusiones.....	Pág. 34

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.- Muestra el agua del relave.....	Pág. 12
Tabla 2.- Cálculos de los requerimientos de resistencia.....	Pág. 15
Tabla 3.- Prueba 1.....	Pág. 16
Tabla 4.- Prueba 2.....	Pág. 17
Tabla 5.- Prueba 3.....	Pág. 17
Tabla 6.- Prueba 4.....	Pág. 18
Tabla 7.- Incremento de resistencia.....	Pág. 20

CONTENIDO DE FIGURAS

Fig. 1.- Mina Limpe Centro.....	Pág. 5
Fig. 2.- Labores de preparación y desarrollo.....	Pág. 7
Fig. 3.- Operaciones unitarias.....	Pág. 8
Fig. 4.- Secuencia de minado.....	Pág. 9
Fig. 5.- Contenido de agua / porcentaje de sólidos.....	Pág. 14
Fig. 6.- Bomba de desplazamiento positivo.....	Pág. 23
Fig. 7.- Tubería de conducción del relave.....	Pág. 23
Fig. 8.- Espesador.....	Pág. 24
Fig. 9.- Bomba horizontal Galligher.....	Pág. 25
Fig. 10.- Planta de floculante.....	Pág. 26
Fig. 11.- Silos de cemento.....	Pág. 27
Fig. 12.- Mezclador de pasta de cemento.....	Pág. 28
Fig. 13.- Mezclador de pasta de relleno.....	Pág. 29
Fig. 14.- Bomba de pasta Putzmeister.....	Pág. 30
Fig. 15-16.- Proceso de funcionamiento de la planta Paste Fill.....	Pág. 31
Fig. 17.- Relleno de un tajo con pasta.....	Pág.32
Fig. 18.- Piso del tajo al concluir el relleno con pasta.....	Pág.33
Fig. 19.- Paredes de un tajo expuesto al relleno con pasta.....	Pág.33

I.- RESUMEN

Iscaycruz, es una mina subterránea que se encuentra ubicada en la parte oriental de la Región Lima – Perú a 4,700 msnm, la mineralogía del yacimiento se encuentra emplazada en las calizas de la Formación Santa y corresponde al tipo de reemplazamiento meta somático, con una inyección hidrotermal tardía.

La mina Iscaycruz desde que inicio sus operaciones en julio de 1996 ha venido implementando el método de minado por “Sub-niveles ascendentes con relleno cementado”. Para la explotación del mineral, los sub-niveles están espaciados cada 10 m y los tajos tienen un ancho de 4 m y una longitud variable entre 25 a 35 m de potencia, entre las cajas. El método de minado es muy dinámico, para lo cual se debe de emplear un ciclo de minado muy corto; siendo el relleno la principal actividad en el ciclo de minado.

La utilización del relleno en pasta en nuestro caso es un elemento clave para nuestra explotación, además utilizar el relave producido por la planta como elemento principal nos ayuda a no depender de algún insumo para otro tipo de relleno.

El Relleno en Pasta se basa en el empleo de relaves, cemento, agua, y un químico floculante (éste ayuda a separar el líquido de las partículas del relave y le da una consistencia pastosa). los cuales son dosificados y mezclados en una Planta y luego transportados por una línea de tuberías hacia los niveles de la mina.

Este tipo de relleno nos permite tener una buena recuperación del mineral, a un bajo costo por las cantidades de cemento que se emplean. Para mantener el tipo de relleno acorde con las necesidades del método de explotación utilizado se realiza un riguroso control de calidad.

Finalmente podemos decir que este tipo de relleno, es único en nuestro país con resultados óptimos desde el punto de vista de seguridad, operatividad y costos.

II.- YACIMIENTO

La mineralización de ISCAYCRUZ corresponde al tipo reemplazamiento hidrotermal con aporte hidrotermal posterior conformado por minerales de Zn, Pb, Ag y Cu.

Los minerales de mena principales son, esfalerita, marmatita y subordinadamente galena y calcopirita.

Entre los minerales accesorios se reconoce a la pirita, siderita, calcita, cuarzo y son considerados como minerales de ganga.

La Unidad Minera Iscaycruz esta conformada por tres operaciones mineras: Limpe Centro (Estela y Olga), Chupa y Tinyag, donde se obtiene concentrados de Zn y Pb.

1.- Mina Limpe Centro.- Se encuentra conformada por dos cuerpos paralelos, Estela (Este) y Olga (Oeste). El cuerpo Estela es el más importante de la unidad minera Iscaycruz, tanto por sus altas leyes de Zn como por su volumen de reservas. Este cuerpo tiene una geometría regular con una longitud media de 250 m (rumbo de N 20° O) y una potencia de 35 m. Tiene un buzamiento de 80° / 75° NE. Una de sus particulares es su “plunge” de 36° SE muy bien definido por una falla geológica en su parte inferior (SO). El cuerpo Olga se ubica en la caja piso del cuerpo Estela y tiene una potencia media de 10 m con el mismo buzamiento de Estela. Este cuerpo no presenta continuidad en profundidad, y sus cajas son roca caliza con alto grado de fracturamiento (tipo brechas) poco competentes.

MINA LIMPE CENTRO

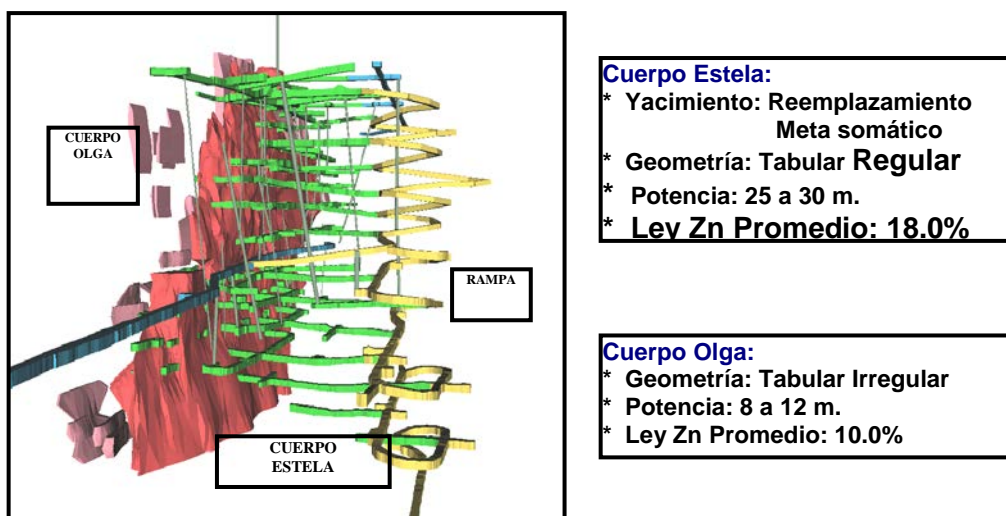


Fig. 1

La Calidad del macizo rocoso de la mina Limpe Centro es muy variable, se ha valorado el macizo rocoso en la escala de Bienawaski, como regular, en el caso del cuerpo mineralizado el tipo de roca en promedio es de tipo regular, la valorización del macizo rocoso se realiza como avanza la operación y en base a los sondajes diamantinos, además, se realizaron cálculos geomecánicos para el dimensionamiento de los tajos en la mina Limpe Centro. Con este análisis se dimensionaron los tajos, a 4 m de ancho, 10 de altura y de largo 25 a 35 m de largo, según la zona donde se realiza el minado, con el objetivo de recuperar el mayor porcentaje de mineral posible sin tener alguna problema de estabilidad.

La Unidad Minera Iscaycruz esta conformada por tres operaciones mineras: Limpe Centro, Chupa y Tinyag.

El yacimiento de Limpe Centro esta representado por el reemplazamiento meta-somático de dos horizontes de calizas sub-paralelas, ubicados a los extremos, al piso y al techo de la formación Santa, separados uno del otro de 30 a 40 m, denominados "Cuerpo Estela" y "Cuerpo Olga". Existen manifestaciones de alteración y mineralización afines a un proceso de reemplazamiento, estos dos cuerpos de sulfuros masivos de Zinc, localizados uno en el miembro inferior ("Cuerpo Estela") y otro en el miembro superior ("Cuerpo Olga") de la formación Santa, localizados ambos dentro de un gran cuerpo de pirita masiva, separados por estratos de caliza silicificada.

La mineralización del "Cuerpo Estela" es polimetálica compuesta de esfalerita, marmitita, galena argentífera y calcopirita, la orientación es similar a la de los estratos N 20°-25° W con 75° - 65° NE de buzamiento. En superficie el afloramiento se encuentra bastante lixiviado con óxidos de Zinc, el "Cuerpo Estela" es de forma tabular lenticular con potencias que van desde 10 hasta 30 m, tiene una extensión longitudinal de 300 m. Éste presenta principalmente 2 zonas definidas: el cuerpo masivo y la zona de brecha al piso con clastos de caliza y dolomita. En el "Cuerpo Olga", la mineralización aflora en superficie, formando una zona de óxidos de fierro y carbonatos hasta de 15 m de potencia.

III.- MÉTODO DE MINADO

Actualmente el método de minado subterráneo empleado en Iscaycruz es: "SUBNIVELES ASCENDENTES CON RELLENO EN PASTA". La ventaja de este método es que permite obtener una alta recuperación del mineral con una baja dilución, en forma rápida y segura.

1.- Labores de preparación y desarrollo.-

El ingreso a interior mina es mediante una rampa negativa construida en la caja techo del cuerpo mineralizado (cuarcitas). A partir de esta labor se preparan subniveles perpendiculares al rumbo del cuerpo mineralizado. Una vez interceptado el cuerpo en potencia, se ejecuta una galería central paralela al rumbo del cuerpo. Cuando ya está delimitado el cuerpo en sus extremos, se procede a la explotación mediante cruceros transversales. Para tener una mayor flexibilidad en el minado se ejecuta un by pass en el extremo norte y sur del cuerpo, permitiendo de esta manera tener mayor número de frentes de minado.

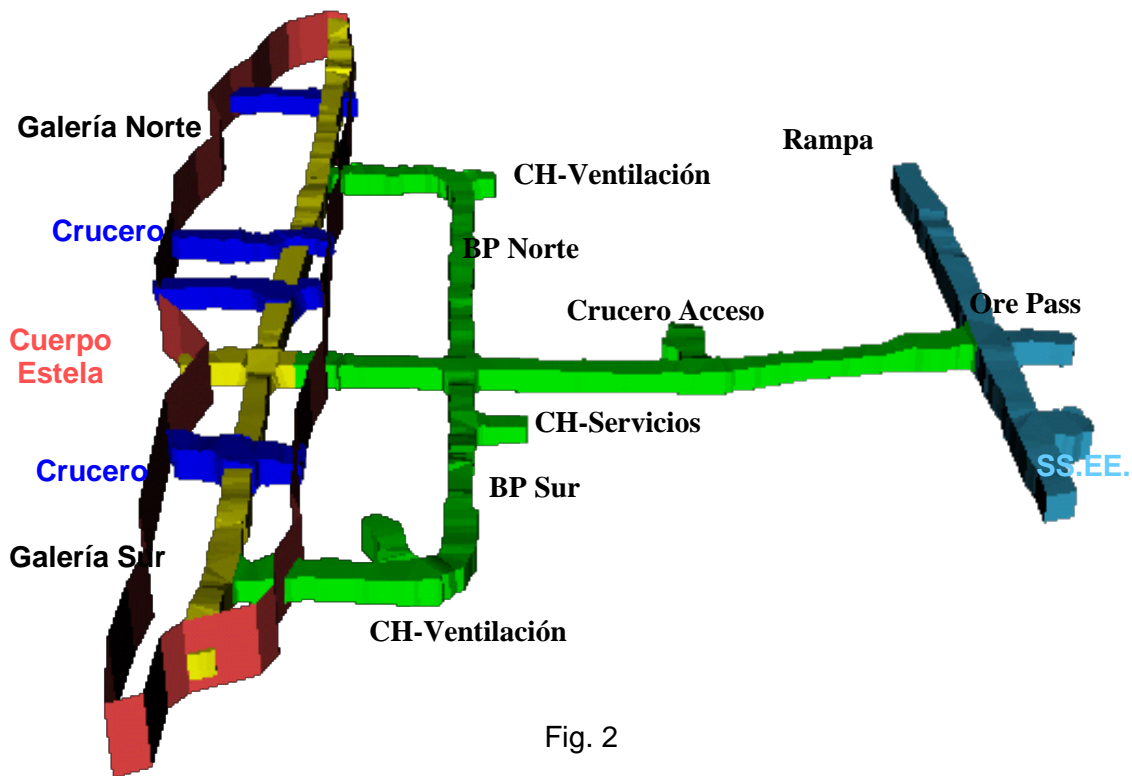


Fig. 2

2.- Operaciones unitarias.-

Avance horizontal de los cruceros en ambos niveles.

Preparación de la cara libre en la caja piso.

Perforación vertical y voladura de los taladros largos.

Limpieza de mineral con control remoto.

Relleno en pasta desde el nivel superior.

Se detalla gráficamente las operaciones unitarias en la siguiente figura.

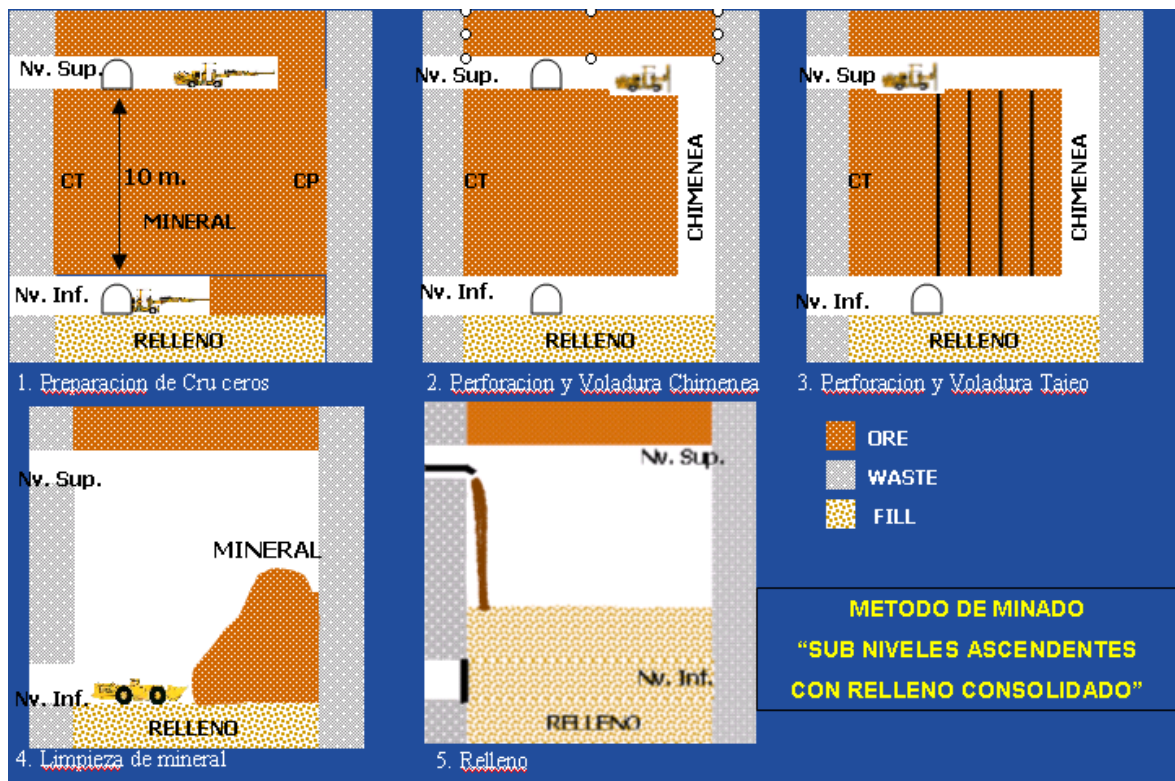


Fig. 3

3.- Secuencia de minado

El "Cuerpo Estela" ha sido dividido en paneles de minado, los que agrupan a un conjunto de subniveles; actualmente, un panel en producción está conformado por 5

subniveles; cada subnivel es dividido en 6 frentes de producción. La secuencia de minado en los subniveles es en retirada y en forma ascendente.

La secuencia de minado se representa en la siguiente figura, los brazos al norte y sur nos ayudan a tener mayores frentes de ataque para cumplir los programas de producción.

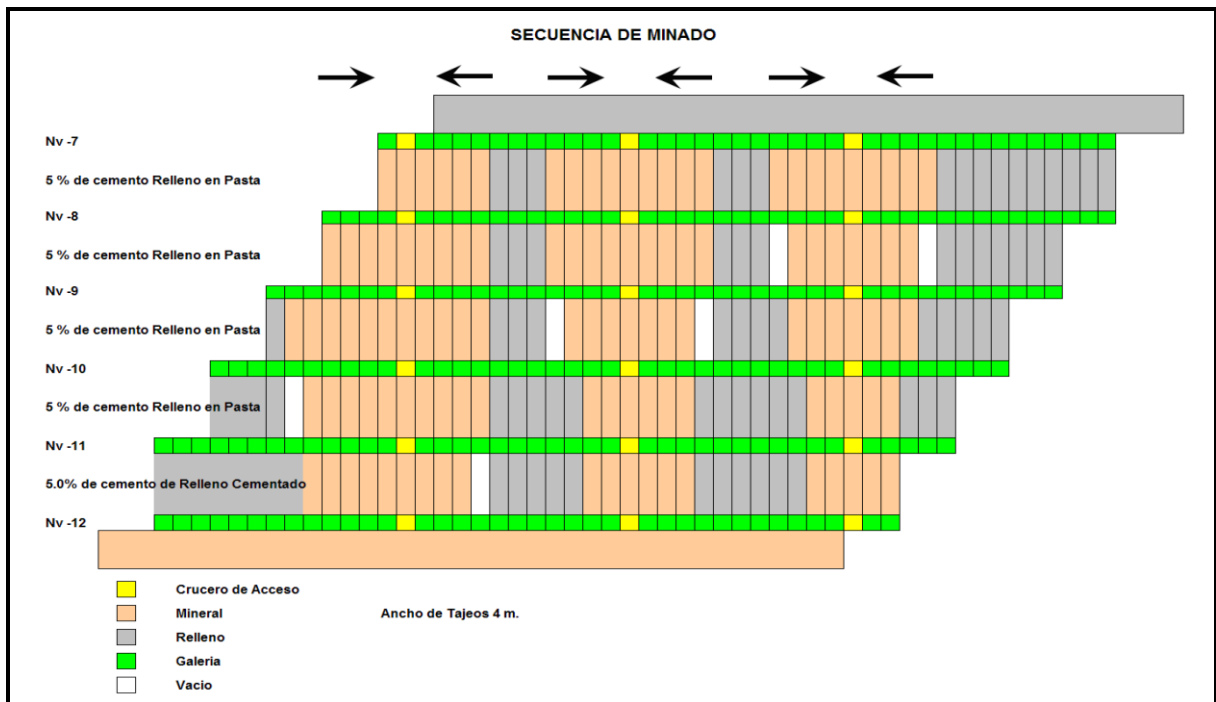


Fig. 4

IV.- RELLENO EN PASTA

Se define como una masa pastosa capaz de ser bombeada y transportada a través de tuberías, compuesta de partículas finas (relave), cemento, agua y un elemento químico llamado floculante. Es una mezcla homogénea que no se segrega y cumple los requerimientos de resistencia para la cual fue diseñada.

Como requerimiento básico es necesario que el contenido mínimo de finos que pasa la malla -635 en el relave debe ser el 15% de su peso. Esto junto con el floculante le permite obtener la consistencia de pasta y la cohesividad necesaria para evitar la segregación de las partículas, haciendo que cambie de una masa fluida a una masa

plástica (pasta) de fácil bombeo que evita los atoros y reduce el desgaste prematuro de la tubería de transporte

1.- Características del relleno en pasta.-

Las principales características del Relleno en Pasta son:

La fluidez del material;

La densidad de la Pasta;

La bombeabilidad;

La resistencia (Rc).

El material fino (relave) es el elemento primario del Relleno en Pasta, debe ser fluido con una densidad de pulpa o Pasta aceptable. La fluidez de la Pasta puede lograrse por una variedad de medios incluso clasificando el material a través del cicloneo y también depende de las características del material (relave, tamaño del grano y la gravedad específica). La bombeabilidad de la Pasta es dependiente de la viscosidad del relave así como del tipo de bomba y la geometría de la red de distribución.

El material fino de la Pasta (limos), actúa como un lubricante alrededor de la tubería, permitiendo fluir el relleno a través de la línea de bombeo reduciendo substancialmente la fricción en la tubería. A su vez la densidad de la Pasta cumple un rol importante por que los pequeños cambios en el volumen de agua pueden producir un aumento dramático en la presión en la línea y afectar la resistencia final de la Pasta. La viscosidad es una medida de la resistencia al movimiento entre las capas diferentes en el fluido o mezcla, la viscosidad de una mezcla de Pasta es difícil de predecir y depende de: la densidad de pulpa, tamaño del grano, mineralogía, y forma geométrica del grano.

Los requisitos necesarios del relave para formar la Pasta son:

Relave con un contenido de 15% de partículas que pasan la malla -635;

Relave libre de impurezas orgánicas;

Adecuada velocidad de sedimentación;

Granulometría continúa.

Las características del relave que usamos son las siguientes:

Producción de Relave	2,378 TMSD;
Gravedad específica	3.45 gr/cm ³ ;
Densidad del Relave	1,331 kg/m ³ ;
Porcentaje de sólidos	35% SP;
Caudal Total	290 m ³ /hr;
Caudal a Paste Fill	135 a 140 m ³ /hr;
Caudal a Relavera	150 m ³ /hr.

Las características de los elementos componentes de la Pasta obtenida son:

Contenido de cemento	94 kilos/m ³ ;
PE de cemento	3.15 gr/cm ³ ;
Densidad de la Pasta	2,260 kg/m ³ ;
Porcentaje de sólidos	78 a 80% SP;
Slump	8.5 a 10.5 pulgadas;
Caudal de Pasta en mina	35 a 44 m ³ /hr.

2.- Diseño.-

El adecuado control de los materiales integrantes de la mezcla, el conocimiento profundo de la tecnología del concreto, los criterios de diseño de las proporciones de la mezcla más adecuada para cada caso, el proceso de puesta obra, el control de la calidad del relleno en pasta, son aspectos a ser considerados cuando se construye o diseña cualquier mezcla con cemento que deben cumplir con los requisitos de calidad, seguridad, y vigencia en el tiempo que se espera de ellos.

3.- Componentes.-

Cemento: En los casos en que la mezcla en Pasta vaya a estar expuesta a la acción de suelos o aguas subterráneas con alta concentración de sulfatos, debe emplearse cemento resistente a los sulfatos (Pórtland II o V).

Agua: El agua para la mezcla debe estar exenta de sustancias que puedan dañar al cemento como contenido de cloruros y sulfatos. Ensayes químicos en muestra de agua para ser usada en la elaboración de concreto y morteros.

4.- Muestra del agua del relave.-

ENSAYO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN
Sólidos Solubles Totales	1,160 ppm	Máximo 1,500 ppm
Sólidos en Suspensión	50 ppm	Máximo 1,500 ppm
Contenido de Sulfatos	643 ppm	Máximo 300 ppm
Contenido de Cloruros	53 ppm	Máximo 300ppm
Potencial Hidrógeno (P. h.)	9.5	Mayor de 7
Materia Orgánica	5 ppm	Máximo 10ppm

Tabla 1

(*) Muestra tomada del espesador de la Planta de Pasta. Ensayo efectuado en el Laboratorio Químico de Iscaycruz.

5.- Relave.-

Se efectuaron las siguientes pruebas: prueba petrográfica según ASTM–295 y la prueba de reacción alcalina según ASTM–C–289–81. La distribución granulométrica nos indica que el 77.93% en peso del relave tiene partículas con tamaños inferiores a 0.149 mm (malla N° 100); además podemos observar que la curva granulométrica corresponde a un material bien graduado en el que predomina la arena fina.

Los componentes del relave son principalmente la Pirita (63.362%), seguido por el Cuarzo (30.517%), luego Esfalerita (1.004%), Galena (0.789%); Calcopirita (0.117%), Carbonatos (1.069%), óxidos de Hierro (0.506%) y Arcillas (2.321%).

La evaluación mineralógica de cada fracción granulométrica nos permite establecer que en la muestra de relave predominan los minerales en la condición no alterada con un 94.5% y la parte regularmente alterada llega 5.2%.

La evaluación química del potencial de reactividad del relave en una solución de Na (OH) **nos permite establecer que se comportaría como un agregado inocuo** y causaría en el mortero una expansión menor a 0.1% en un año cuando sea utilizado con un cemento conteniendo menos de 1.38% de álcalis.

6.- Floculante Praestoll 2530.-

Este tipo de aditivo juega un rol importante en el proceso de Relleno de Pasta, tiene por finalidad reducir el contenido de agua en el relave, es decir en el proceso, el espesador de la Planta de Relleno que contiene al relave en un 35% de sólidos, al adicionarle el Floculante, separa el mayor contenido de agua en la parte superior del espesador (*over flow*) y los sólidos se van depositando en la parte inferior (*under flow*), llegando a un contenido de 78% a 80% de sólidos para que puedan ser usados.

Este químico le da al relave la condición de Pasta haciendo que sus partículas sean cohesivas y la condición de fluidez (por el alto contenido de agua) pasa a la condición plástica, que con la adición del cemento permite el desplazamiento por la tubería sin sufrir atoros y reduciendo el desgaste de la misma, al reducir el efecto corrosivo propio del relave al darle una propiedad lubricante que envuelve a la masa que se desplaza compuesta por las partículas ultra finas que contiene el relave, el cemento y el floculante y es la que tiene contacto con las paredes de la tubería.

7.- Parámetros de Control de Calidad.-

Estos parámetros de control se realizarán de manera continua, y estos son:

Slump: A fin de garantizar una calidad de la Pasta se trabaja con un *Slump* de 10" a 8" con lo cual nos garantiza la calidad de la pasta que llega interior mina; esto nos permitió ir mejorando la resistencia con el mismo contenido de cemento.

Elaboración de probetas y ensayos de compresión simple: Los moldes para la elaboración de las probetas cumplen con la norma ASTM C 470, se extraen probetas que son ensayadas cada 14, 21 y 28 días, además, por tener un tiempo de fraguado más lento que el Relleno Cementado

Granulometría: La clasificación granulométrica es muy importante debido a la cantidad de ultra finos que pueda tener la mezcla, esto altera significativamente la resistencia del Relleno en Pasta.

Ensayos estándares de clasificación: El relleno en Pasta son sometidos a los siguientes ensayos:

Contenido de humedad;

Porcentaje de absorción;

Clasificación de materiales (Grava, arena, limo y arcilla);

Ensayos de compresión simple;

Gravedad específica.

Contenido de agua/ porcentaje de sólidos: La cantidad de agua libre en la masa del relleno tiene una fuerte influencia sobre la resistencia del relleno. Si existe exceso de agua, parte del agua tendrá que percolar a través de la masa de relleno, removiendo el cemento en suspensión, además, y por su alto contenido de finos absorbería el agua; lo que ocasionaría frenar el tiempo de fraguado de la mezcla. Dando como resultado una considerable disminución en su resistencia final. En ese sentido, deberá tener en cuenta la cantidad de agua necesaria para ser fluida la mezcla.

Ma	% Reten	% Pasante acum.
70	23.38	76.62
100	11.26	65.36
140	12.83	52.52
200	9.91	42.61
270	11.50	31.11
325	4.35	26.77
400	3.28	23.49
500	5.11	18.37
635	2.98	15.39
<	15.39	0.00

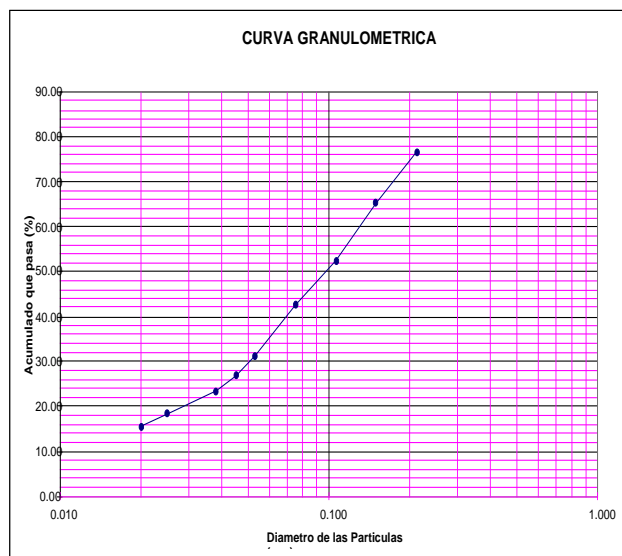


Fig. 5

8.- Cálculos de los requerimientos de resistencia.-

Los requerimientos de resistencia para el relleno subterráneo y que va a servir de pared solamente es de 0.927 Mpa como máximo. Dadas las posibles variaciones en el contenido de humedad, muestreo y elaboración de probetas, y colocación; se considero un factor de seguridad de 2. A su vez se puede fácilmente aumentar el contenido de cemento para las necesidades de mina y cualquier eventualidad; y como la mina va profundizando va ha requerir, mas adelante, mayores resistencia, nos lleva a emplear contenidos de cemento mayores por m³.

La resistencia requerida por el relleno esta en función a los siguientes factores:

Colaterales a las voladuras;

Mantener paredes autos soportables;

Actuar como pilar de soporte;

Soportar las cargas laterales de empuje de las cajas.

Según estas funciones se han efectuado los cálculos correspondientes, para ello se han utilizando criterios de diseño como el Stacey & Page, Sijing Cai, Terzaghi, Mitchel & Roettger y la Teoría de Losas; cabe mencionar que todos estos estudios y sus cálculos se basan en la estabilidad estática del relleno y no considera la estabilidad dinámica.

Además, y en función de nuestra realidad operacional, se tomaron en cuenta los aspectos morfológicos del cuerpo mineralizado y las condiciones geomecánicas de cada zona de trabajo para su evaluación.

Los resultados de las resistencias requeridas en los diferentes niveles de la profundización de la unidad operacional de Limpe Centro para el Relleno en Pasta se presentan en la siguiente tabla.

Nivel	Resistencia Compresiva no confinada por área de minado MPa		
	Área Sur	Área Central	Área Norte
4482 (-7) al 4467.5 (-8)	0.498	0.812	0.927
4467.5 (-8) al 4454 (-9)	0.557	0.779	0.801
4454 (-9) al 4440.5 (-10)	0.508	0.814	0.661
4440.5 (-10) al 4427 (-11)	0.490	0.854	0.498

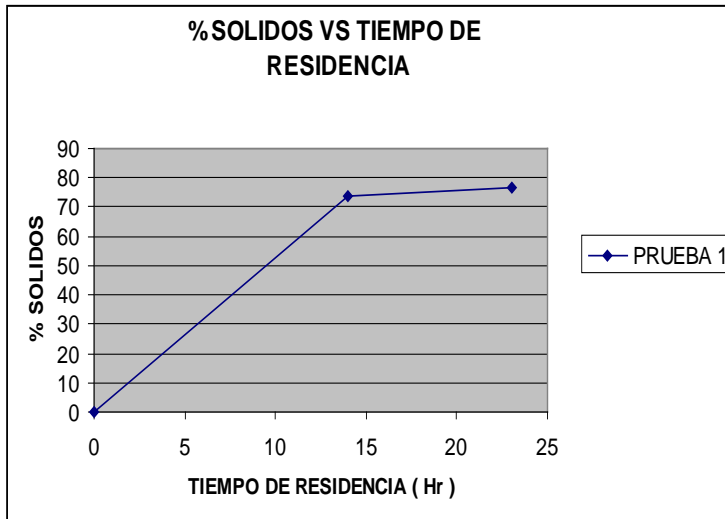
Tabla 2

9.- Porcentaje de Sólido Vs Tiempo de Residencia.-

Objetivo: Determinar cuál es el tiempo de residencia de la pasta en el espesador en la que se obtiene un porcentaje de sólidos entre 77% y 78%.

Procedimiento: Se controla el tiempo de llenado del espesador desde el inicio, es decir cuando esta lleno con agua y se controla el % de sólidos.

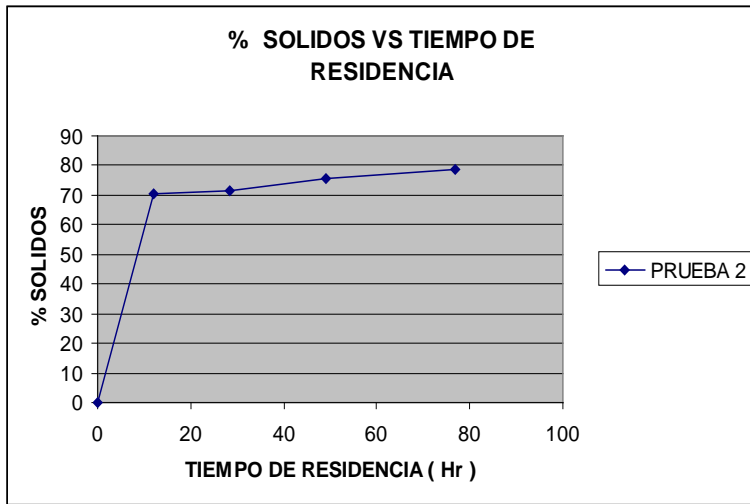
Prueba 1: Se alimento al espesador con 35% de sólidos, dando como resultado lo siguiente:



T (Hr.)	%SOLIDOS
0	0
14	73.5
23	76.4

Tabla 3

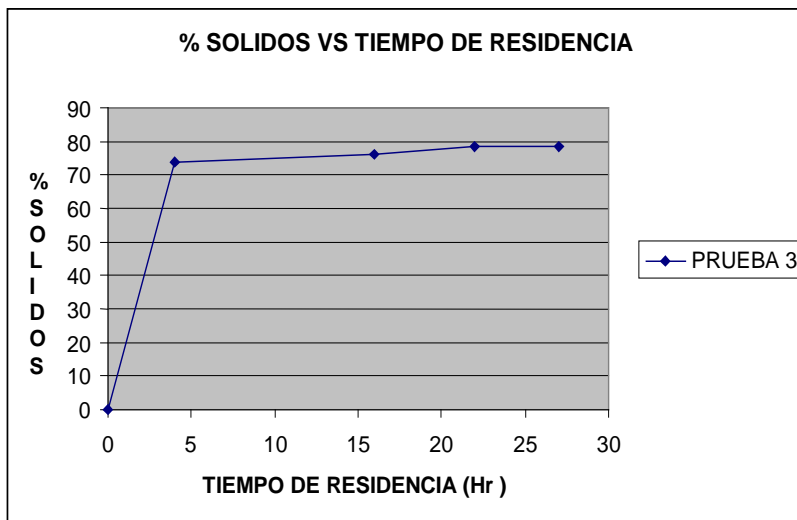
Prueba 2: Se alimento al espesador 32% de sólidos, dando como resultado lo siguiente:



T (Hr.)	%SOLIDOS
0	0
12	70.3
28.5	71.5
49	75.6
77	78.5

Tabla 4

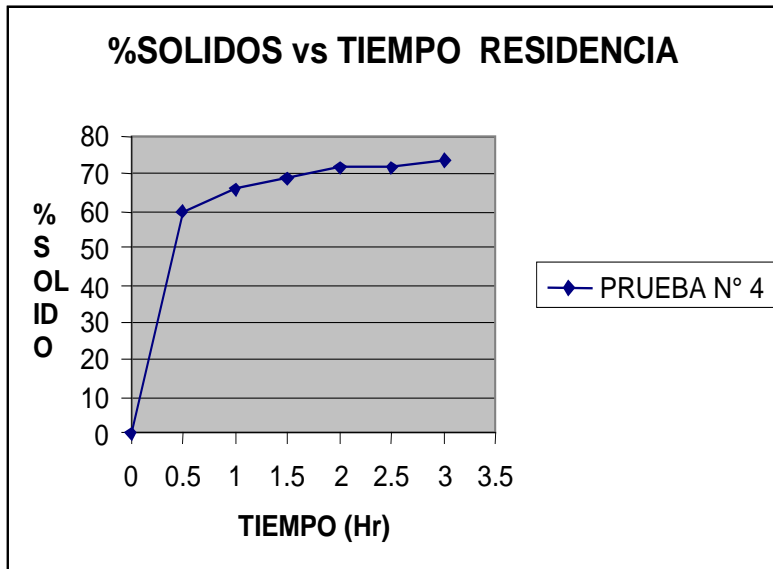
Prueba 3: Se alimento al espesador con 38% de sólidos, dando como resultado lo siguiente:



T (Hr.)	%SOLIDOS
0	0
4	74
16	76
22	78.4
27	78.6

Tabla 5

Prueba 4: Se alimento al espesador con 33.7% de sólidos, dando como resultado lo siguiente:



Tiempo(Hr)	%Sólidos
0	0
0,5	59,7
1	65,6
1,5	68,7
2	71,7
2,5	71,5
3	73,7

Tabla 6

De los ítem 1 al 4, se usó el Floculante Magnafloc 1011, en que se observa claramente que se requiere un alto tiempo de residencia para incrementar el % de sólidos en el U/f de espesador;

Se hizo un cambio de floculante: Magnafloc 1011 por Praestol, se observa un notorio cambio con respecto al tiempo de residencia, este ha disminuido;

Se puede observar en la prueba N° 4 que el % de sólidos alcanzado es de 73.7% en 3 horas;

El consumo del floculante Praestol 2530 es 50% menos que el floculante Magnafloc 1011.

La investigación continua en esta área, ha desarrollado un procedimiento que elimina las limitaciones y las restricciones técnicas de la Pasta de relave convencional:

Por ejemplo se disminuirá el contenido de agua de la Pasta y ayudará a elevar la resistencia hasta en un 50%;

Las resistencias obtenidas en la actualidad, se han uniformado en base a un estricto control de calidad y estas resistencias cumplen con los requerimientos determinados por geomecánica para los rellenos subterráneos en Limpe Centro;

Sin embargo hay factores naturales (presencia de aguas subterráneas) o el procedimiento operativo (descontrol en los disparos) que afectan las resistencias del relleno y que pueden elevar la dilución o poner en riesgo el relleno expuesto; esto nos obliga a elevar el factor de seguridad y por lo tanto las resistencias del relleno tendrán que ser mayores;

Procurar un ciclado de minado de menor tiempo.

10.- Selección de la granulometría.-

Se tomó muestras de relave de la Planta de Pasta con 79% de sólidos y se cortó por la malla # 325. Se realizaron pruebas cualitativas con el relave cortado en la malla # 325 con la adición de cemento y el aditivo incorporador de aire SIKA AER.

Se noto una fuerte exudación como consecuencia de la eliminación de los finos <325 ya que con o sin aditivo exuda y se asientan los sólidos.

Una forma de aumentar la resistencia a la compresión de la Pasta es reducir el agua de la mezcla, ya sea en el tanque espesador aumentando los sólidos de 79% a 85% y reduciendo agua en la mezcladora THIESSEN en donde se prepara la Pasta de cemento.

Los valores con que se trabaja por metro cúbico de Pasta son los siguientes:

Relave con 79% se sólidos	1,790 k/m ³
Cemento	94 kg/m ³
Agua	377 Lt/m ³

Estos datos coinciden con la densidad de la mezcla de Pasta que es de 2.25 y la teórica de 2.26.

Para preparar la Pasta de cemento se mezcla 70% de cemento y 30% de agua, no se puede reducir el agua por que el cemento se asienta en el tanque y la tubería se obstruye.

11.- Incremento de resistencia.-

Ante estas limitaciones se decidió probar un nuevo diseño, eliminando el agua que se le agrega en la Pasta mediante la Planta de Cemento THIESSEN como además de incorporar el aditivo súper plastificante de última generación **SIKAMENT 290N**, este químico tiene un efecto de aumentar la cohesión de la mezcla, reduce la segregación y la fricción de la mezcla con la tubería influyendo notablemente en la reducción del desgaste de la tubería; además retarda la fragua de la mezcla que puede producirse prematuramente a causa del aumento de la temperatura por fricción de la mezcla con la tubería, o por temperatura elevada del tajo a rellenar. No requiere compactación y se amolda al terreno ocupando o rellenado todas las cavidades que encuentra y por su condición plástica es autonivelante.

Se realizó una prueba en planta de pasta, para enviar 14 m³ hasta el tajo 606, Nivel -7 al -8.; la dosificación empleada fue relave 2,230 kg/cm³; cemento 94 kg/m³ aditivo Sikament 290N 1 lt/m³. El relave utilizado tenía un slump de 93/4” densidad 2,260 y 79% de sólidos.

Se muestreo en la Planta y en interior mina, en el mismo tajo, obteniéndose los siguientes resultados:

MUESTRA	PLANTA	LABORATORIO	Nv -7 Tj 606	F´c = a 7 días
SLUMP	8”	8”	9”	1.30 Mpa
DENSIDAD	2,320	2,330	2,280	
% SÓLIDOS	80.5%	80%	79%	

Tabla 7

12.- Resultados.-

Hasta el momento los resultados obtenidos, en promedio, varían de 0.5 a 0.7 Mpa de resistencia comprobada en el Laboratorio de Concreto y Laboratorios externos con los siguientes parámetros:

Gravedad específica 3.45;

Contenido de humedad de 25 %;

Clasificación granulométrica: grava 0%, arena 47.8%, finos 52.2%.

V.- PLANTA DE RELLENO EN PASTA

1.- Descripción general.-

La Planta de Pasta es un proceso intermedio, entre la operación de Planta Concentradora y Mina; a razón de que recibe el relave de la Concentradora, produce Pasta y ésta es enviada a la Mina como relleno.

El relave que es desechado por Planta Concentradora, es clasificado en un ciclón D-20, el Underflow del cicloneo es mezclado con el relave general en una proporción en volumen de 20% y 80% respectivamente. Esta mezcla es alimentado mediante una bomba centrífuga a la bomba de desplazamiento positivo Geho N° 1, y a su vez esta bomba alimenta a la bomba de desplazamiento positivo Geho N° 2, éstas bombas enseriadas alimentan el relave a un espesador de cono profundo a 35% de sólidos, al ingreso del relave al espesador se realiza la floculación respectiva con 20 gr/Tm relave. Luego de 8 hr. de tiempo de retención en el espesador se forma la Pasta de relave, con 78 a 80% de sólidos.

La Planta de Cemento Thissen prepara pasta de cemento, con 70% de cemento y 30% de agua.

Los flujos de mezcla de la pasta de relave y pasta de cemento son controlados mediante flujómetros y alimentados a un mezclador MDC – 200.

El producto final, que denominamos Pasta para el relleno, que viene de la mezcla de la Pasta de cemento con la Pasta de relave, es enviado a Mina impulsado por la bomba de desplazamiento positivo Pultzmeister.

2- Detalles de la planta de pasta.-

La Planta de Relleno en Pasta está localizada en la superficie a 4740 m.s.n.m, usa actualmente como material principal el relave, producido de la Planta Concentradora Iscaycruz, dicho material es clasificado, previamente, para eliminar los ultra finos que contienen el relave (- malla 635) y que son alrededor del 37% del total de relave, por lo que con el cicloneado dicho material se reduce a 25%, lo cual permite mejorar la calidad del material a emplearse. El material resultante del cicloneo es bombeado y transportado por dos bombas de desplazamiento positivo, marca Geho hacia la estación en Planta de Pasta a través de tuberías, con un porcentaje de sólidos de 35%.

Luego, el relave se deposita a un espesador cónico de 11 m de diámetro X 16 m de altura, donde se combina con el floculante con el objetivo de formar la pasta, dando como resultado el material requerido en la parte inferior del espesador (*under flow*) y el agua en la parte superior (*over flow*), que se evacua por gravedad a la relavera. En este proceso se obtiene una pasta con un contenido de 78% a 80 % de sólidos.

En la Planta de Cemento Thissen se prepara pasta de cemento, con 70% de cemento y 30% de agua.

Al obtener la densidad adecuada en el under flow del espesador, la Pasta de cemento y la pasta de relave, son transportados hacia el mezclador para formar la Pasta cementante. Posteriormente, la Pasta cementante es transportada hacia la tolva de recepción, para ser bombeada ha interior mina, a través de una línea de tuberías de acero de *Schedule 40*, las cuales están instaladas en la chimenea de acceso a la zona de producción y en la parte superior de los accesos, conectados por codos d e acero.

3.- Equipos.-

Una bomba de desplazamiento positivo por diafragma GEHO, cuya función es impulsar el relave a través de la tubería que va desde la Planta Concentradora hasta el espesador que se encuentra en la Planta de Pasta.



Fig. 6

Tubería de conducción del relave, es el medio por el que se desplaza el relave que va a abastecer al espesador, su diámetro es de 8" tiene una longitud de 2,000 m.



Fig. 7


Espesador, es el lugar donde se almacena el relave que viene de la Planta Concentradora, y su función es separar el líquido de los sólidos; este sistema es ayudado con la incorporación de un elemento químico llamado floculante.



Fig. 8

Bomba horizontal Galligher, envía la Pasta de relave que se forma en el espesador hacia la mezcladora de la Pasta.

EMPRESA MINERA ISCA Y CRUZ S.A.



ENVIROTECH PUMPSYSTEM

PUMP SIZE	8" X 6"
PUMP TYPE	6VRG200
MOTOR POWER	150hp.
CANTIDAD	02 UNDS

Fig. 9

Planta de floculante, dosifica el floculante que va al espesador; el floculante ayuda a separar el líquido de los sólidos y a las partículas sólidas las cohesiona formando una pasta.



Fig. 10

Silos de cemento, es el lugar donde se almacena el cemento y desde el cual se alimenta mediante un tornillo sin fin el cemento que va al mezclador de Pasta de cemento, son tres silos uno horizontal de 100 toneladas y los verticales de 150 toneladas.



Fig. 11

Mezclador de Pasta de Cemento, modelo Thiessen Tornado SD 300, lugar donde llega el cemento procedente del silo y se dosifica con el agua, pasando a un agitador para homogenizarlo y convertir esta mezcla en Pasta.

EMPRESA MINERA ISCA Y CRUZ S.A



Modelo
THIESSEN TORNADO SD3000

HOLDING TANK
capacite 1000 lts.
2 x 40 hp colloidal mills to mix grout
Discharge piping to agitation tank

AGITATION TANK
Mixing sistem motor & drive
level indicator system
discharge at moyno pump

MOYNO PUMP
Motor drive 15 hp-36GPM @ 60RPM
Cutler Hammer SV variable
frequency

Fig. 12

Mezclador de Pasta de Relleno, modelo STARTER MDC 200WITH SOFT, lugar donde se junta la Pasta de relave procedente del espesador y la Pasta de cemento recorriendo una longitud de 4 metros, mezclándose estos componentes ayudados por paletas obteniéndose una Pasta para el relleno homogénea. Su capacidad de mezclado puede ir de 30 hasta 160 m³.

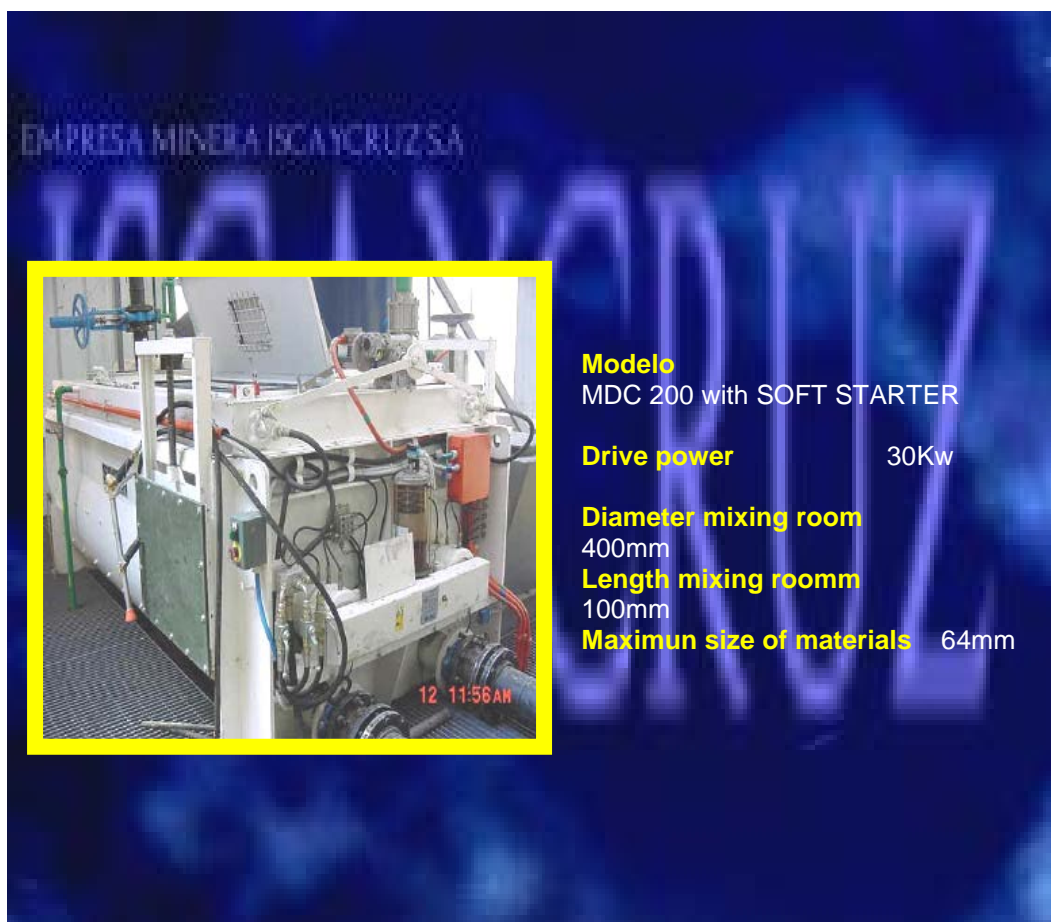


Fig. 13

Bomba de Pasta marca PUTZMEISTER, sirve para impulsar la Pasta de Relleno desde la Planta de Pasta hasta el tajo a rellenar en interior mina.

EMPRESA MINERA ISCA Y CRUZ S.A.



Operating characteristics

Slurry to be pumped	Mine Paste
Capacity	Mine.50 m ³ /h
Specific gravity of slurry	2.35Kg/m ³
Solids concentration	80% Cw
Discharge Pressure	max. 120 bar

Data PUTZMEISTER

Pump type	HSP 2170
HPS	
Motor Power	375Kw
Stroke volume 2cyl.	174.41
Strokes/minute	10.5

Fig. 14

VI.- EVOLUCIÓN DEL MEJORAMIENTO DE LA PLANTA PASTE FILL

En el año 2002 se alcanzó el 72% de sólidos y la conformación de la Pasta se lograba en 72 horas.

En el año 2003 se alcanzó a 78% con 8 horas para la formación de pasta. Esto debido al cambio de floculante y al mejoramiento de las técnicas empleadas por el personal para la formación de Pasta.

A partir del año 2004 se logra llegar de 78 a 80% de sólidos.

VII.- PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA PASTE FILL

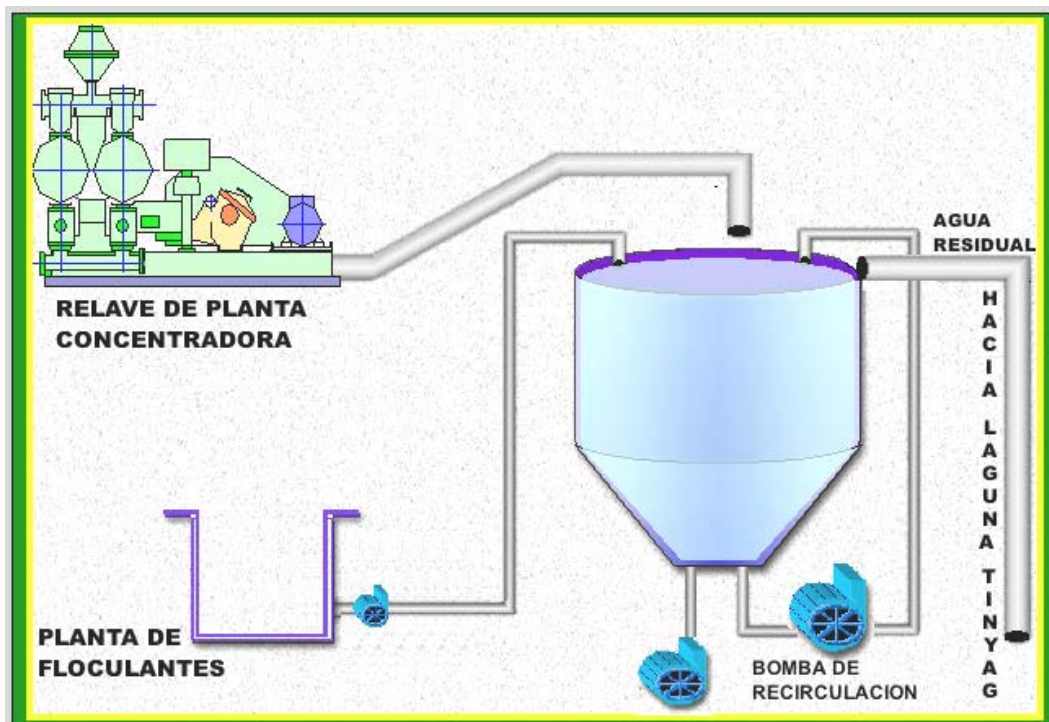


Fig.15

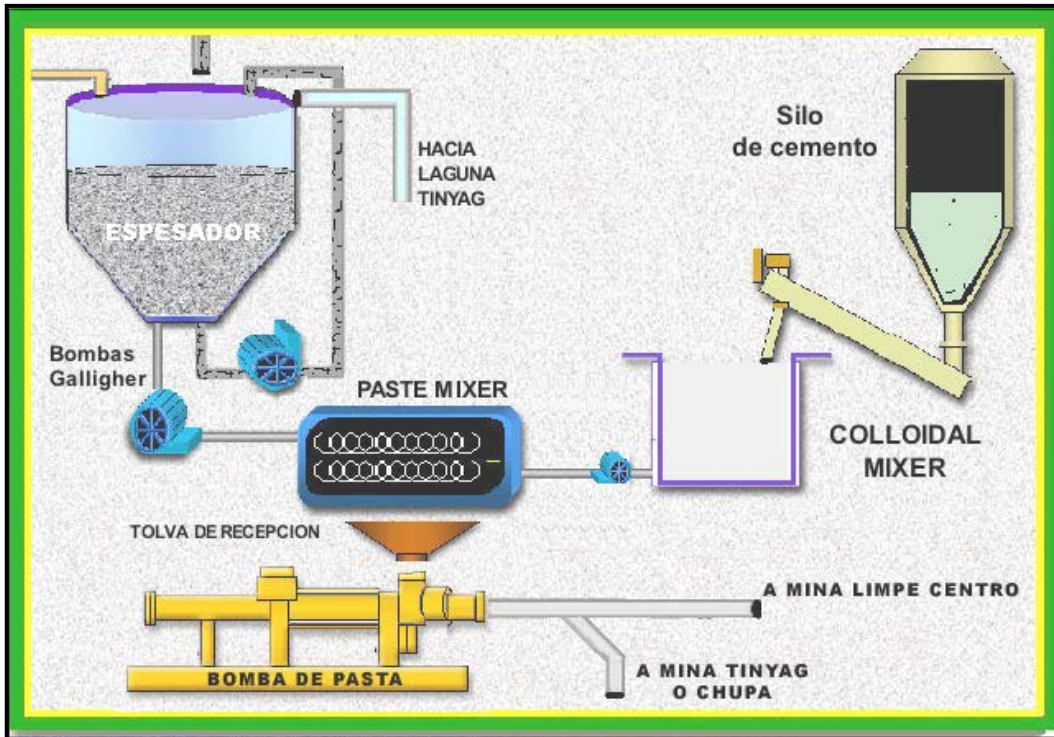


Fig.16



Fig.17



Fig.18



Fig.19

VII. - CONCLUSIONES

Con esta nueva tecnología, podemos decir lo siguiente:

Esta nueva alternativa de relleno es una tecnología de última generación que nos brinda una mayor eficiencia en los trabajos de relleno, permite una mayor vida a los depósitos de relave, minimiza el uso de equipos en la operación y reduce costos operativos.

El contenido promedio de cemento Pórtland tipo I es de 94 k/m³ obteniendo resistencias promedio de 0.5 Mpa lo cual satisface la resistencia requerida.

La distribución de tamaños de partículas y contenido de agua, juegan un rol importante sobre la resistencia y bombeabilidad del relleno.

El control de los ultrafinos es importante por que si baja a menos de 15%, las partículas se precipitan y no se puede formar pasta, aún cuando se le aumente considerablemente floculante.

Como resultado de las últimas investigaciones, con nuestra Planta actual, eliminando la Planta de Cemento Thiessen podríamos trabajar con 79 a 80% de sólidos en el relave; 94 kilos de cemento y un litro de súper plastificante Sikament 290N; controlando siempre que los ultra finos (Malla -635) estén entre 15 y 17% del total del relave. Con esto esperamos alcanzar resistencias entre 2 a 2.5 Mpa a los 28 días lo que ayudaría a tener un ciclo de minado mas flexible, seguro y mejoraríamos los resultados de la dilución.

La resistencia obtenida a los 7 días colocando directamente el cemento sin adición de agua y con el aditivo Sikament 290N nos dan 1.3 Mpa.

El efecto de los aditivos para su uso en el relleno en Pasta se destaca dos aspectos principales:

La fluidez de la mezcla, pues de acuerdo a los datos podemos lograr incrementos notables mayores al 20% comparado con nuestra muestra patrón sin aditivo; esta cualidad incluida en las mezclas permiten lubricación interna de las tuberías, evitan segregaciones en la Pasta, asentamientos esperados por precipitación de las

partículas mas gruesas, esto se traduce en menores presiones de bombeo, mejoramiento de mantenimiento de tuberías y eliminación de problemas de atoros.

El incremento del costo por el uso del aditivo es de US\$ 0.95 /m³;

Otro efecto importante que se observa son las mejores resistencias a la compresión comparadas con la mezcla patrón sin aditivo y el tiempo en que se puede lograr éstas.

En cuanto a la contracción de volumen, se observa en probeta una contracción de 3% con respecto a las probetas sin aditivo que presentan una contracción del 10%. Este aspecto es importante por que en interior mina con volúmenes mayores se presentan fisuras verticales por donde fallaría el relleno.

A medida como avanza nuestro minado y nos encontremos a mayor profundidad el relleno cementado que utilizamos actualmente incrementa sus costos por el manipuleo con los equipos (scoops), con el relleno en Pasta los costos bajarían sustancialmente.

Da una mayor vida a los depósitos de relave y además nos permite minimizar el impacto ambiental de la zona.

Permite obtener en los tajos rellenados características homogéneas y nos da mayor dinamismo al sistema de relleno.

Los desafíos actuales y futuros es construir y mejorar el ambiente minero, haciendo un sistema funcional y viable en la entrega del relleno a los tajos en las proporciones y calidades requeridas, para poder mantener una producción adecuada y al menor costo posible.

Este nuevo tipo de relleno aplicado a la minería necesita seguir investigándose, bajo las diferentes condiciones que puedan presentarse y ahí esta el reto de los ingenieros y demás especialistas.