

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**“RELLENO HIDRÁULICO EN MINERA ARIRAHUA S.A. AREQUIPA - 2012”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ALFONSO MAMANI MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**RELLENO HIDRÁULICO EN MINERA ARIRAHUA S.A. AREQUIPA - 2012**  
**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PRESENTADO POR:**

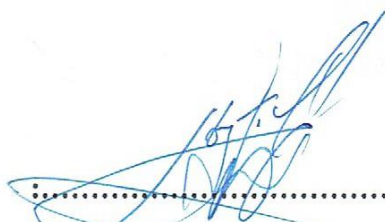
**Bach. ALFONSO MAMANI MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

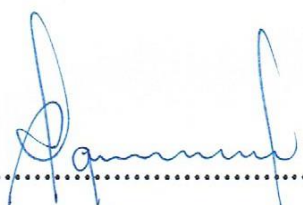
**INGENIERO DE MINAS**

**APROBADO POR:**

**PRESIDENTE**

  
.....  
**M. Sc. Henry Arnaldo Tapia Valencia**

**PRIMER MIEMBRO**

  
.....  
**Ing. Esteban Aquino Alanoca**

**SEGUNDO MIEMBRO**

  
.....  
**Mtro. Anibal Sucari León**

**TEMA: Relleno hidráulico en minería subterránea**

**ÁREA: Ingeniería de Minas**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 30 de Octubre del 2019**

## DEDICATORIA

A mí querida madre Maria y padre Juan (+) quienes supieron demostrar su cariño y afecto al guiarme hacia este objetivo.

Dedico el presente, a mi esposa Juana Beatriz Paredes Chipana sin su apoyo nada de esto hubiera sido posible y a mis hijas Oshin, Diego y Dilan, que siempre estuvieron a mi lado apoyándome en cada momento de mi vida.

En especial dedico este trabajo a Dios.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, por brindar la oportunidad para realizar mis estudios universitarios, a la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas y personal docente por haberme transmitido los conocimientos, experiencias y orientación vocacional para mi formación profesional como Ingeniero de Minas.

**ÍNDICE GENERAL**

	Pág.
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE GENERAL.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	9
I.- INTRODUCCION.....	10
II.- MATERIALES Y METODOS.....	11
III.- RESULTADOS.....	15
IV.- DISCUSIÓN.....	22
V.- CONCLUSIONES.....	22
VI- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Disposición de relleno hidráulico en tajeos de producción.....	13
<i>Figura 2.</i> Proceso de relleno hidráulico en tajeos de producción. ....	14
<i>Figura 3.</i> Curva granulométrica de relleno hidráulico. ....	21
<i>Figura 4.</i> La prueba del Slump.....	21

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Cálculos del caudal del ciclón (Q) .....	16
Tabla 2 Densidad del relleno hidráulico del ciclón (planta metalúrgica).....	17
Tabla 3 Cálculos del caudal en el agitador (Q) .....	17
Tabla 4 Densidad del relleno hidráulico del agitador (planta R.H.).....	18
Tabla 5 Datos de agitador para cálculos de tiempo (tajo 600 – Nv. 3250) .....	18
Tabla 6 Estándares de relleno hidráulico y agua niveles 3250 - 3110 .....	18
Tabla 7 Estándares de relleno hidráulico y agua niveles 3360 – 3390.....	18
Tabla 8 Resultado clasificación granulométrica relleno hidráulico .....	20

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

Ch : Chimenea

RH : Relleno Hidráulico

S.A. : Sociedad Anonima

E : Este

NE : Nor este

N : Norte

NW : Nor oeste

Ga : Galería

Nv. : Nivel

RPM: Revoluciones por minuto

S : Sur

SE : Sur Este

mts : metros

SW : Sur Oeste

Tj : Tajeo

TM : Tonelada métrica

W : Oeste





## RELLENO HIDRÁULICO EN MINERÍA SUBTERRÁNEA



### Relleno hidráulico en minera Arirahua S.A. Arequipa -2012

### Hydraulic filling in miner Arirahua S.A. Arequipa – 2012

Bach: Alfonso Mamani Mamani

Escuela profesional de Ingeniería de Minas

Universidad Nacional del Altiplano Av. Floral N° 1153 Campus Universitario

Orcid: 0000-0002-9396-4006, Cel: 951288091 email: [alonso\\_ws@hotmail.com](mailto:alonso_ws@hotmail.com)

#### RESUMEN

El presente artículo de investigación se ha realizado en los tajeos de explotación de la Compañía de Minas Arirahua S.A. que tiene problemas de recuperación de finos en los tajos. El objetivo del trabajo de investigación es analizar el sistema de relleno hidráulico en mina Arirahua 2012. El método de investigación es de tipo descriptivo y de carácter no-experimental, que comprende las siguientes etapas de trabajo en gabinete, trabajo en campo, considerando la realización de pruebas experimentales a nivel laboratorio. La aplicación de relleno hidráulico en los tajeos de explotación encima del relleno detrítico, la densidad de relleno hidráulico es de 1.76 ton/m<sup>3</sup>, así como el porcentaje de sólidos 69.85%, en el proceso de la aplicación del relleno hidráulico incluyendo la velocidad crítica es de 2.59m/s, el caudal de relleno hidráulico es de 3.33 lt/seg y por medio de tubería polietileno de (3 pulgadas) de diámetro. Se observa del análisis de granulometría que se tiene un contenido bajo de lamas que proporciona un buen drenaje del relleno en interior mina, y bajo contenido de sólidos en suspensión en el drenaje de mina. En conclusión, mediante esta actividad la operación de relleno se realiza previo acondicionamiento del tajo a rellenar el cual hasta formar un nuevo piso más elevado que permita proseguir con el ciclo de minado

Palabra Clave: Sistema de relleno, pasta de relave, relleno, labor minera.

#### ABSTRACT

The present investigation article in the tajeos of exploitation of Minas Arirahua S.A. Company that has problems of recuperation of fine in the chunks. The objective of research work is analyzing the system of hydraulic filling in mine Arirahua 2012. The fact-finding method belongs to descriptive and character guy not experimental, that he understands the following job steps in cabinet, I work at field, postulate the realization of experimental level proofs laboratory. The application software of hydraulic filling in the tajeos of exploitation on the filling detrítico, the density of hydraulic filling is of 1,76 ton/m<sup>3</sup>, as well as the percentage of solids 69,85 %, in the process of the application software of the hydraulic filling including critical speed you come from 2.59m/s, the flow intensity of hydraulic filling belongs to 3,33 lt/seg and by means of piping polyethylene of (3 inches) of diameter. One observes of the analysis of classification by size of particles that a contents has itself bass of slimes that a good drainage of the filling in inside provides mine, and under contents of hanging solids at the drainage of mine. In conclusion, by means of this activity the operation of filling realizes previous conditioning of the chunk itself to refill which to form a new floor more lifted that it allows keeping on with the cycle of mine

Key word: System of filling, pasta of wash again, filling, mining work.

## I.- INTRODUCCION

El presente trabajo fue realizado en la compañía de Minas Arirahua S.A.-2012. La extracción de los minerales se realiza por el método de corte y relleno ascendente mediante la excavación de un tajeo de explotación por las características de vetas tienen un ancho promedio de 0.10 mts, estas vetas se explotan a un ancho de minado de 0.48 mts. Luego se amplía desquinchando las cajas hasta obtener un ancho mínimo de trabajo 0.8m, el material del desquinche queda como piso para dar la altura de perforación del siguiente corte. Para lo cual se hizo estudios y realizaron pruebas experimentales en el laboratorio de Relleno Hidráulico, utilizando materiales apropiados de Planta Metalúrgica para su posterior medición; además de realizar tantas pruebas sean necesarias para obtener cálculos óptimos. El porcentaje de sólidos puede variar considerablemente para diferentes aplicaciones, desde más del 50% a más del 70% en peso. (Marco A. Murillo, 2005, p. 3)

El relleno hidráulico se aplicó por primera vez el año 1864 en la mina Shenandoah en Pennsylvania, Estados Unidos, como control de la subsidencia, posteriormente se fue mecanizando y optimizando su uso en la explotación en la minería subterránea. En el Perú se aplicó relleno hidráulico en el año 1937 en la mina Lourdes de Cerro de Pasco con la finalidad de controlar incendios, implementándose luego al ciclo de minado. (Cabezas-Armellon, 2016, p. 36).

Para este proceso de aplicación de relleno hidráulico son sumamente importante las características físicas y mecánicas de la pulpa. La densidad de pulpa así como el porcentaje de sólidos en el proceso de la aplicación de relleno hidráulico incluyendo la velocidad crítica del flujo que no permite el atoramiento por consolidación dentro del tubo de (3 pulgadas) son factores determinantes en el proceso de la acumulación de la pulpa encima del relleno detrítico en el tajeo de explotación, en esta etapa de aplicación de relleno hidráulico se considerado muy importante hacer la limpieza de toda la tubería para su uso en la siguiente etapa de aplicación de relleno hidráulico.(Sucasaca Pacombia, 2019, p. 68)

El proceso de análisis y experimentación a nivel de laboratorio en relación a la determinación de los parámetros técnicos empleados para determinar los parámetros técnicos de las propiedades de la pasta de relleno que se va a obtener a partir del relave para ser utilizado como material de relleno hidráulico en las labores de la minería subterránea como son las galerías principales, las chimeneas y tajeos así como otras que requieren sostenimiento y proteger al medio geológico circundante de los futuros hundimientos y fallas causadas por estas labores mineras (Romero & Flores, 2012, p. 3)

El tema se sustenta en la posibilidad de disminuir los problemas de inestabilidad del macizo rocoso y con ello minimizar los riesgos de caída de rocas, estallido de rocas, así como

los altos costos de producción generados por los problemas en el sostenimiento de las labores mineras. Con esta finalidad, se aplicarán los conocimientos de la mecánica de fluidos sobre transporte de fluidos con sólidos en suspensión; y lograr de esta manera saturar con relleno hidráulico todos los espacios vacíos generados por la explotación de mineral en la veta Jimena. (Huamán-Montes, 2007, p. 1).

El diseño obtenido garantiza una pasta bombeable, teniendo como valor referencial en la operación el Slump, que viene a ser la medida de la consistencia de la mezcla en pulgadas obtenido con el cono de Abrahams. (Arenas-Bustillos, 2001, p. 54).

En su mayoría, la explotación de los yacimientos minerales metálicos mediante minado subterráneo es realizada a través del relleno de los vacíos generados por el proceso de extracción del mineral excavado. El relleno empleado en este proceso cumple varias funciones; dentro de estas funciones, las principales son mantener la estabilidad global de la mina y también proporcionar la plataforma de trabajo para el minado progresivo del recurso. (Elorrieta-Agramonte & Cordova-Rojas, 2019, p. 2).

En la mina Yauricocha se ha evaluado la factibilidad de co - disposición de relaves y desmonte para lo cual se ha estudiado las variables intervinientes como resistencias al corte y a la compresión, permeabilidad, densidad, granulometría, composición química de relaves y desmonte de mina, facilidad de

lixiviación de los minerales en ambos, influencia de la aceleración sísmica en la estabilidad de taludes en desmonte y relaves. (Ortiz-S, Canchari-S, & Giraldo-P, 2011, p. 1).

Durante las primeras horas de depositación, la mezcla se comporta como un fluido no Newtoniano, sin embargo, en la medida que el cemento se hidrata, el relleno se comporta como un sólido. (Gonzalo & Alsidqi, 2015, p. 6)

El objetivo del trabajo de investigación es analizar el sistema de relleno hidráulico en mina Arirahua 2012

## II.- MATERIALES Y METODOS

El área de estudio está políticamente ubicada en el paraje de Arirahua, distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento de Arequipa, según la carta Nacional, del Instituto Geográfico nacional 32-Q, sus coordenadas UTM: 8 267,322N. Y 720,958E. Entre los meridianos geográficos 15°39'50" Latitud Sur; 72°56'15" Latitud Oeste. Es accesible desde la ciudad de Arequipa por una carretera asfaltada y afirmada, cubriéndose un total de 275 km.

Los materiales que hemos utilizado están constituidos por todas las operaciones de producción de la Mina Arirahua S.A., Explotación de tajeos, Planta de relleno hidráulico, Reporte diario de planta de RH, Relaves de la planta concentradora, Balanza. Balde graduado, Cronometro, Flexo metro, libreta de apuntes y computadora.

El método de investigación es de tipo descriptivo y de carácter no-experimental, que comprende las siguientes etapas de trabajo en gabinete, trabajo en campo, considerando la realización de pruebas experimentales a nivel laboratorio. Esta investigación presenta una metodología de carácter científico, aplicada, cuantitativa y cuasi experimental en el uso del nuevo sistema de relleno con mortero de relave, usando el relave como parte de la mezcla, dando confiabilidad en el sostenimiento de las labores, bajar el nivel de la relavera y evitar accidentes o equipos atrapados durante las extracciones en la minería subterránea. (Ames-Castañeda, Lezama-Mendieta, & Ampuero-Peñarenda, 2015, p. 1)

### **OPERACION DEL RELLENO HIDRÁULICO**

El ancho de minado (o de voladura) de los tajos de explotación es de 0.40 m, y para realizar el siguiente corte, se hace el descaje o ensanche de la labor suficiente para que el perforista pueda operar con comodidad, este ancho es de 0.7 a 0.8 m que se denomina ancho de trabajo; el material del descaje sirve para tener piso para la altura de perforación del siguiente corte que en promedio es de 1.50 a 2.40 m. y sobre este desmonte es el que se aplica una loza de relleno hidráulico de una altura de hasta 0.3 m. lo que representa un 20% del relleno total para el siguiente corte. La altura de corte en nuestros tajos es de 2.30 metro.

DISPOSICION DE RELLENO HIDRAULICO EN TAJEOS DE PRODUCCION MINAS ARIRAHUA S.A.

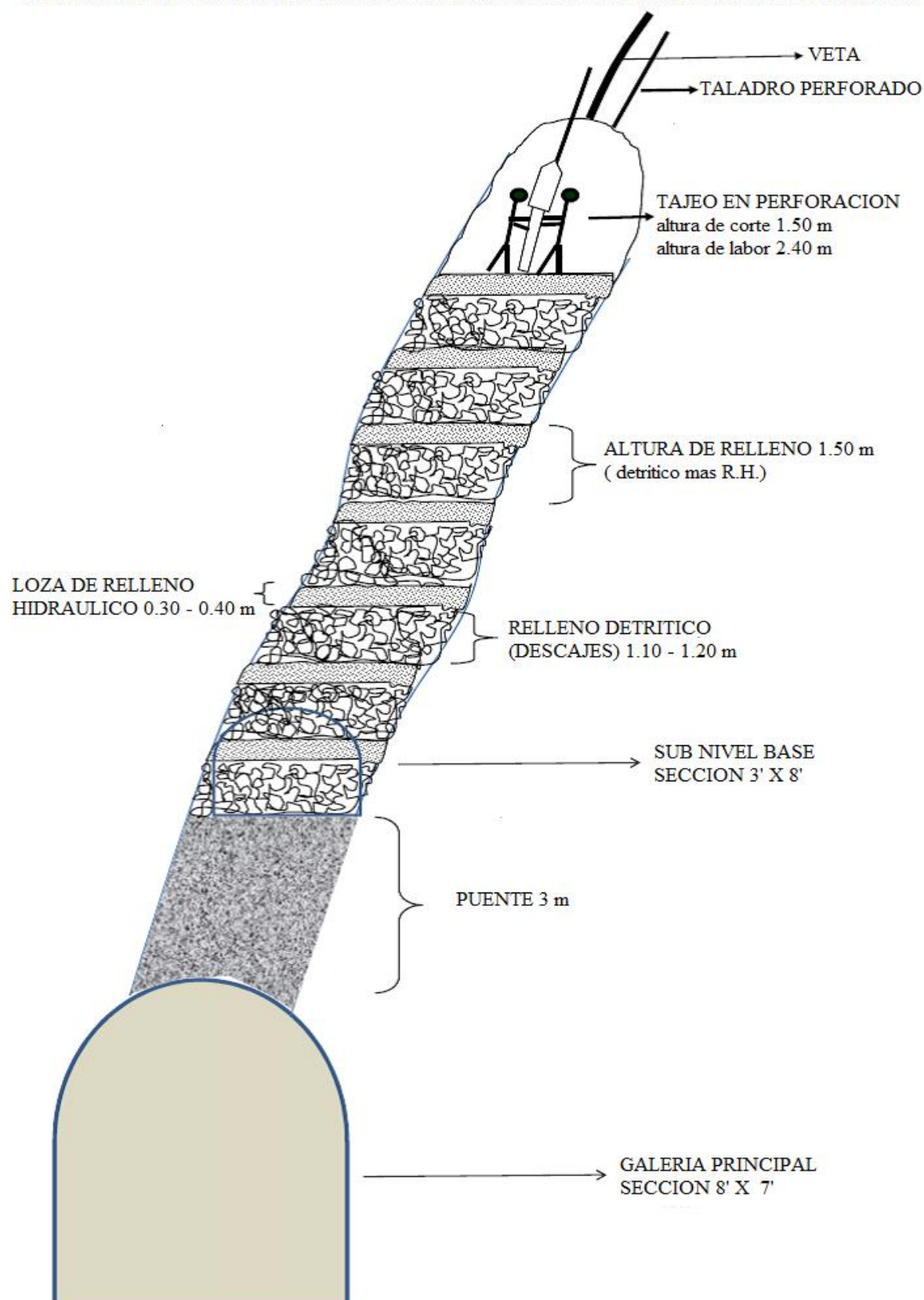


Figura 1 Disposición de relleno hidráulico en tajeos de producción.

Fuente: Planta de relleno hidráulico de Minas Arirahua S.A.

Para efectuar el relleno hidráulico se hace acondicionar el tajo de la siguiente manera:

- Se construyen Barreras de contención en ambos extremos del tajo explotado con redondos y tablas. Colocando barreras similares en los buzones según sea la forma de la labor a rellenar. La abertura o luz que se da a las barreras no debe exceder a 4”.
- Se realiza el pampeado respectivo o nivelación del terreno con el material de descaje.
- Se coloca tela arpillera, extendiéndola a lo largo del tajo sellándola entre las

#### TENDIDO DE TELA ARPILLERA



barreras y sobre la pared rocosa con clavos de 2 1/2”.

- Se realiza la instalación de la red Principal de relleno al tajo mediante tubería de polietileno de 3” o manguera Flexible de 3”.

Materiales, accesorios y herramientas.- Tubería polietileno 3”, Manguera flexible 3”, Unión universal 3”, Bridas de 3”, Clavos de 2 1/2”, Tela arpillera, Llave stinson, Llave francesa, Arco de sierra, Combos – martillos, Radios de comunicación.

#### TAJEJO RELLENADO



*Figura 2.* Proceso de relleno hidráulico en tajeos de producción.

Fuente: Planta de relleno hidráulico de Minas Arirahua S.A.

### III.- RESULTADOS

Para lo cual se hizo estudios y realizaron pruebas experimentales en el laboratorio de relleno hidráulico, utilizando materiales apropiados de Planta Metalúrgica para su posterior medición; además de realizar tantas pruebas sean necesarias para obtener cálculos óptimos.

#### CALCULO DE VOLUMEN DE AGUA DE POZA DE RELLENO HIDRÁULICO

Datos de la poza de agua (paralelepípedo):

L: Largo

A: Ancho

H: Altura

V: Volumen de agua de pozo

$$L = 8.54 \text{ mts} = 854 \text{ cm}$$

$$A = 7.54 \text{ mts} = 754 \text{ cm}$$

$$H = 2.40 \text{ mts} = 240 \text{ cm}$$

Entonces tenemos:

$$\text{Volumen de pozo de agua} = L * A * H$$

$$V = 8.54 * 7.54 * 2.4 = 155 \text{ m}^3 \\ = 155000 \text{ lts}$$

#### CALCULO DE VOLUMEN DE AGITADOR

Datos del agitador (cilindro):

R: Radio

H: Altura

V: Volumen de agitador

$$R = 1.17 \text{ mts}$$

$$H = 2.70 \text{ mts}$$

Reemplazando a la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de agitador} = H * \pi * R^2 \\ V = 2.7 * 3.1416 * 1.17^2 = 11.61 \text{ m}^3 \\ = 11610 \text{ lts}$$

#### CALCULO DEL VOLUMEN DEL CICLÓN DE RELLENO HIDRÁULICO

Datos de ciclón (cubo):

L: Lado

V: Volumen del ciclón

$$L = 1.22 \text{ mts} = 122 \text{ cm}$$

Reemplazando a la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen del ciclón} = L^3$$

$$V = 1.22^3 = 1.82 \text{ m}^3$$

#### CALCULO DE CAPACIDAD DEL CICLÓN DE PLANTA

Tenemos la siguiente ecuación:

$$Qc = Aa * Vc \text{ (cm}^3/\text{seg)}$$

Entonces:

$$Qc = \text{Capacidad del ciclón}$$

$$Aa = \text{Area del tubo de alimentacion}$$

$$Vc = \text{Velocidad del flujo de alimentacion} \\ \text{(cm/seg)}$$

Para área del tubo de alimentación:

$$Aa = \pi * r^2 = 3.1416 * 5.08^2 = 81.07 \text{ cm}^2$$

Para la velocidad del flujo de alimentación:

$$Vc = \sqrt{K * r * g}$$

Entonces:

$$K = \text{Factor de Fuerza Centrífuga} (15, 17, 19).$$

$$r = \text{Radio del cilindro del ciclón} (61 \text{ cm})$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad: } 9.81 \text{ m/seg}^2 \\ = 981 \text{ cm/seg}^2$$

$$Vc = \sqrt{17 * 61 \text{ cm} * 981 \text{ cm/seg}^2} \\ = 1008.61 \text{ cm/seg}$$

Reemplazando a la siguiente ecuación de capacidad de ciclón de planta tenemos:

$$Qc = Aa * Vc = 81.07 * 1008.61 \\ = 81768 \text{ cm}^3/\text{seg} \\ = 81.77 \text{ lts/seg} = 21.6 \text{ gal/seg}$$

**CALCULOS PARA TONELADAS DE RELLENO HIDRAULICO (PLANTA)**

$$GPM = \frac{440.335(TMS/HORA)}{\%S * \&}$$

GPM: Galones por minuto

%S : Porcentaje de solidos

& : Densidad

TMS: Toneladas métricas secas

$$\%S = \frac{(\& - 1) * 100 * G.E}{\& * (G.E - 1)}$$

&= Densidad

G.E= Gravedad especifica

$$GPM = \frac{35.75 (TMS/HORA)}{\%S * \&}$$

Datos:

$$G.E = 2.7 \text{ ton/m}^3$$

$$\& = 1.916 \text{ ton/m}^3$$

Para el ciclón:

$$\%S = \frac{(1.916-1)*100*2.7}{1.916*(2.7-1)} = 75.93\%$$

$$TMS/HORA = \frac{24.91 * 75.93 * 1.916}{440.33} = 8.23$$

$$TMS/DIA = \frac{24.91 * 75.93 * 1.916}{35.75} = 101.37$$

Para el agitador:

$$\%S = \frac{(1.765-1)*100*2.7}{1.765*(2.7-1)} = 69.85\%$$

$$TMS/HORA = \frac{54.43 * 69.85 * 1.765}{440.33} = 15.41$$

$$TMS/DIA = \frac{54.43 * 69.85 * 1.765}{35.75} = 189.83$$

**TOMA DE DATOS EN EL CAMPO**

a).-TOMA DE DATOS DE RELLENO HIDRAULICO DEL CICLON (APEX)

Tabla 1

*Cálculos del caudal del ciclón (Q)*

Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo promedio (seg)	volumen (lt)	CAUDAL (lt/seg)
09:53:18	09:53:25	7	8.5	1.21
09:54:31	09:54:37	6	10	1.67
09:55:14	09:55:21	7	10	1.43
09:57:01	09:57:07	6	10.4	1.73
09:58:10	09:58:16	6	9.5	1.58
09:59:15	09:59:21	6	9.5	1.58
10:00:13	10:00:20	7	10.4	1.49
10:01:03	10:01:09	6	10.9	1.82
10:02:02	10:02:08	6	10.3	1.72
10:03:03	10:03:09	6	9.5	1.58
TOTAL		6.3	9.9	1.58

Nota: Entonces tenemos como promedio de caudal es igual a 1.58 lt/seg.



b).- DENSIDAD DEL RELLENO HIDRÁULICO DEL CICLÓN (PLANTA METALÚRGICA)

Tabla 2  
*Densidad del relleno hidráulico del ciclón (planta metalúrgica)*

N°	DENSIDAD (ton/m3)	gravedad solidos	porcentaje solidos
1	1.93	88	78
2	1.91	87	77
3	1.92	87.5	77.5
4	1.92	88	78
5	1.9	87	77
Promedio	1.916	87.5	77.5

Nota: Entonces tenemos como promedio densidad es igual a 1.916ton/m3

c).- TOMA DE DATOS EN AGITADOR DE RELLENO HIDRÁULICO (CANALETA)

Tabla 3  
*Cálculos del caudal en el agitador (Q)*

Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo promedio (seg)	volumen (lt)	CAUDAL (lt/seg)
10:25:51	10:25:54	3	10.40	3.47
10:26:32	10:26:35	3	9.50	3.17
10:27:00	10:27:03	3	10.00	3.33
10:27:30	10:27:33	3	9.80	3.27
10:28:02	10:28:05	3	9.60	3.20
10:28:54	10:28:57	3	10.10	3.37
10:29:24	10:29:27	3	10.20	3.40
10:30:00	10:30:03	3	9.90	3.30
10:31:05	10:31:08	3	10.00	3.33
10:32:08	10:32:11	3	10.30	3.43
T O T A L		3	9.98	3.33

Nota: Entonces tenemos como promedio de caudal es igual a 3.33 lt/seg

d).- DENSIDAD DEL RELLENO HIDRAULICO DEL AGITADOR (PLANTA RH)

Tabla 4

Densidad del relleno hidráulico del agitador (planta R.H.)

N°	Densidad (ton/m3)	Gravedad solidos	Porcentaje solidos
1	1.71	76	67
2	1.72	77	68
3	1.77	79.5	70.5
4	1.79	81	72
5	1.795	81.2	72
6	1.79	81	71.8
7	1.78	80	71
Promedio	1.765	79.39	70.33

Nota: Entonces tenemos como promedio densidad es igual a 1.765 ton/m3

e).- TOMA DE DATOS DEL AGITADOR PARA CALCULOS DE TIEMPOS

Tabla 5

Datos de agitador para cálculos de tiempo (tajo 600 – Nv. 3250)

	Tiempo (min)	Altura volumen (mts)
Control		
Inicial	12:09:36	2.20
final	12:16:56	1.07
Empleado	7.3	1.13

Nota: Entonces el tiempo empleado tenemos 7.3 min y altura de volumen se tiene 1.13 mts.

Hallando el volumen empleado del Agitador:

$$V = Abase * Altura de volumen$$

$$V = 3.1416 * (1.17)^2 * 1.13$$

$$V = 4.9m^3$$

f).- ESTANDARES DE RELLENO HIDRÁULICO Y AGUA

Tabla 6

Estándares de relleno hidráulico y agua niveles 3250 - 3110

Volumen m3	Tiempos (min)	Cubos de agua (m3)
4.9	7.3	8.58
1	1.5	0.93

Nota: se llegó establecer que 1m3 de R.H. se necesita 1.5 minutos y 0.93 m3 de agua.

Tabla 7

Estándares de relleno hidráulico y agua niveles 3360 – 3390

Volumen m3	Tiempos (min)	Cubos de agua (m3)
7	7	6.51
1	1	0.93

Nota: se llegó establecer que 1m3 de R.H. se necesita 1 minutos y 0.93 m3 de agua

## VERIFICACION DE LA OPERATIVIDAD.

Luego de concluir su etapa de preparación pasan a la operación de rellenar. Para lo cual se debe verificar:

El equipo principal (Bomba), esto se hace enviando agua al tajeo previo al relleno.

La limpieza de la tubería y fugas que podría haber en el recorrido del primer envío del agua, concluyéndose con la llegada del agua al tajo.

La comunicación debe estar en lugares estratégicos para que la planta R.H. y los relleneros estén siempre en contacto. Esto se hace para que la planta R.H. sepa a qué hora se debe enviar y parar el envío de relleno hidráulico.

Se realiza la verificación de la densidad de pulpa para cada tajeo en la planta de R.H de acuerdo a la necesidad del tajo con la utilización de balanza de gravedad específica.

## RELLENO DEL TAJO.

Por teléfono se comunica a planta que ya puede enviar el relleno, la planta envía agua para limpiar las tuberías y luego envía las pulpas con la densidad adecuada de acuerdo a la necesidad del tajo. Se procede a efectuar el relleno cambiando los puntos de descarga en forma sistemática. El material de relleno depositado exhibe una distribución gruesa en tamaño que el material inicial descargado, aparentemente parte de los finos se pierden por percolación.

## TRANSPORTE RELLENO

### HIDRÁULICO.

Para transportar el relleno hidráulico hasta los tajeos hay que vencer una gran presión para lo

cual se emplea la bomba modelo 6 x 6 x 14 - SRC, tipo ASH PUNP, con motor: marca VULCO de potencia 50 HP y 1770 RPM, con sello de agua.

Las tuberías que conducen el relleno hacia los tajeos se han seleccionado teniendo en cuenta la velocidad real de la pulpa y los cálculos de las velocidades críticas de las partículas que se transportan, hasta el momento solo se usa tuberías de polietileno de 3" Ø.

## VELOCIDAD CRÍTICA DE TRANSPORTE

Es la velocidad límite o mínima que permite que una partícula durante su transporte no sedimente, una velocidad menor a esta significa deposición por sedimentación, el cual produce un atoramiento de tuberías y graves consecuencias que perjudican el normal desarrollo de la operación. Para calcular la velocidad crítica existe una relación experimental que tiene la siguiente forma:

$$V_c = fl\sqrt{2gD(S - 1)}$$

Donde:

$V_c$  = velocidad crítica en pies/seg

$fl$  = factor de durand = 1.7

$g$  = gravedad en pies/seg<sup>2</sup>

$$= 32.2\text{pies/seg}^2$$

$D$  = diametro de tubería en pies

$$= 0.24\text{pies}$$

$S$  = gravedad específica de la pulpa

$$= 2.62$$

Según esta fórmula tenemos:

$$V_c = fl\sqrt{2gD(S - 1)}$$

$$V_c = 1.7\sqrt{2 * 32.2 * 0.24(2.62 - 1)}$$

$$Vc = 8.5 \text{pies/seg} = 2.59 \text{m/seg}$$

**VELOCIDAD DE PULPA**

Esta debe ser mayor que la velocidad crítica y permite que no exista el fenómeno de atoramiento, en Arirahua según datos de campo varía de acuerdo a la distancia en 3.3 a 4.5 m/seg.

La experiencia sin embargo nos hace constatar de que es posible realizar trabajos de relleno hidráulico con velocidades por debajo de las deducidas, como las que se ha podido comprobar aquí en la mina Arirahua con las La granulometría del relave empleado en el relleno se presenta en el siguiente cuadro:

mediciones realizadas, Siendo esta la razón por la que se originan con frecuencia las obstrucciones, convirtiendo la labor de relleno en un trabajo ineficiente que afecta grandemente a la producción en el ciclo de minado.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**

Procedimiento por el que se puede llegar a conocer la distribución de las partículas, por su tamaño se realiza en muestras sistemáticas a través de un conjunto de cedazos o mallas.

Tabla 8

*Resultado clasificación granulométrica relleno hidráulico*

Malla	Abertura en mm	% peso gruesos	%Acum (+)	%Pasa(-)
60	0.25	53.7	53.7	46.3
100	0.149	20.1	73.8	26.2
150	0.105	8.2	82	18
200	0.074	4.4	86.4	13.6
250	0.063	4.9	91.3	8.7
325	0.044	1	92.3	7.7
400	0.037	1.7	94	6
<400	0.031	6	100	----

En la figura N° 3 de la curva granulométrica de relleno hidráulico Minas Arirahua S.A. Se observa del análisis que se tiene un contenido bajo de lamas que proporciona un buen drenaje del relleno en interior mina, y bajo contenido de sólidos en suspensión en el drenaje de mina

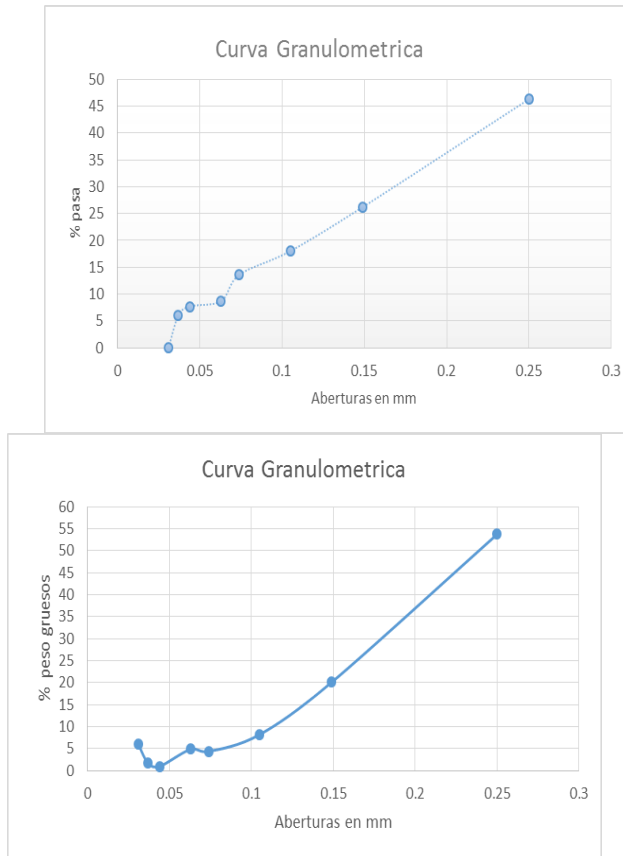


Figura 3. Curva granulométrica de relleno hidráulico.

**VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN (PRUEBA DEL SLUMP)**

Para esta prueba se utilizó un cono de base menor igual a 10 cm, base mayor igual a 20 cm y una altura igual a 30 cm.

La prueba del Slump consiste en depositar la pulpa dentro de un cono, luego se retira el cono de metal y se mide el cono formado por el material en el momento que se descarga el relleno; la altura de este cono debe ser de una pulgada para que se puedan depositar y acomodar en el tajeo.

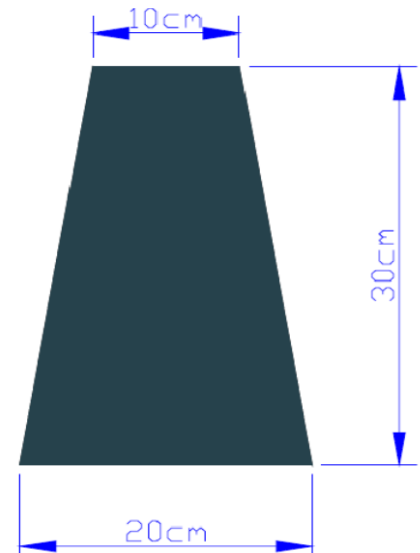


Figura 4. La prueba del Slump

Para la prueba se utilizó: Capacidad del cono 5 litros, relación de mezcla 1 a 1, peso de arena 3kg, peso de agua 3kg.

Como resultado se tuvo un Slump de (0.63 pulgadas) de altura lo cual nos indica que estamos dentro del rango óptimo, este resultado se ha conseguido agregándole un aglomerante.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL DEL RELLENO.**

La altura de la cámara determina las características de resistencias mínimas que debe alcanzar el relleno hidráulico, para ello nos apoyamos en la siguiente relación:

$$Rc = \frac{H * D (1 + H/L)}{10}$$

para  $W < H$

Donde:

$Rc =$  resistencia a la compresion

uniaxial de relleno ( $kg/cm^2$ )

$L =$  longitud del tajeo (15m)

$H = \text{altura máxima de relleno (0.4m)}$

$D = \text{densidad del relleno (1.65ton/m}^3\text{)}$

$W = \text{ancho del tajo (0.8)}$

Entonces tenemos de la siguiente manera.

$$Rc = \frac{15 * 1.65 (1 + 0.4/15)}{10}$$

$$Rc = \frac{24.75 * 1.02}{10}$$

$$Rc = 2.52kg/cm^2 = 0.247Mpa.$$

#### IV.- DISCUSIÓN

La granulometría del material que utilizamos para el relleno hidráulico es de malla 200 con contenido de finos de 12 a 20 % lo cual garantiza alcanzar una máxima densidad in situ con lo cual se obtiene una buena resistencia a la compresión simple del relleno.

Para el caso de Minas Arirahua S.A. se ha encontrado que la densidad de relleno hidráulico es de 1.76 ton/m<sup>3</sup>, así como el porcentaje de sólidos 69.85%, en el proceso de la aplicación del relleno hidráulico incluyendo la velocidad crítica es de 2.59m/s, el caudal de relleno hidráulico es de 3.33 lt/seg y por medio de tubería polietileno de (3 pulgadas) de diámetro.

Cabe resaltar que la elaboración de la pasta de relleno, tendrá en cuenta como malla patrón a la Malla N° 200, la cual servirá de base de clasificación para la elaboración de pasta de material fino y pasta de material grueso. (Romero & Flores, 2012, p. 6)

Si el problema se resuelve entonces el tiempo de ciclo desciende y por tal la eficiencia operativa se incrementa y por consecuencia se incrementa la producción. La estabilidad de las labores mineras subterráneas son solucionados con un adecuado sostenimiento que previa evaluación geomecánica supere un factor de seguridad mayor a 2, siendo el más efectivo el uso de shotcrete (concreto lanzado) El lento crecimiento de una relavera es favorable por el impacto económico que produce, por tal el reciclaje o uso del relave que se haga parte del sostenimiento nos permite solucionar la problemática actual. (Ames-Castañeda et al., 2015)

“Luego de realizar la primera etapa de acarreo, se rellena el tajeo con relleno cementado hasta una altura de 2,5 m. Esta secuencia se realiza con paños de 12 m de largo a todo el ancho de la veta, que varía de 4 m a 14 m.” (Sotomayor-Simbron & Ochoa-Ore, 2015, p. 95)

#### V.- CONCLUSIONES

- Mediante esta actividad el sistema de relleno hidráulico se realiza previo acondicionamiento del tajo a rellenar el cual hasta formar un nuevo piso más elevado que permita mejorar la capacidad operativa del ciclo de minado, reducir los tiempos del ciclo, incrementar la productividad.
- la densidad de relleno hidráulico es de 1.76 ton/m<sup>3</sup>, así como el porcentaje de sólidos 69.85%, en el proceso de la aplicación del relleno hidráulico incluyendo la velocidad

- critica es de 2.59m/s, el caudal de relleno hidráulico es de 3.33 lt/seg y por medio de tubería polietileno de (3 pulgadas) de diámetro.
- El marcado de rasante, puntales de barreras, pampillado, perfilación de corona, serán importantes para la buena realización de un trabajo de relleno hidráulico.
  - Finalmente este tipo de estudio es valioso, ya que aporta información puntual sobre relleno hidráulico que brinda una mayor eficiencia en los tajeos de producción, que permite la extracción del 100% del mineral, reduce la dilución.

**VI- REFERENCIAS****BIBLIOGRÁFICAS**

- Ames-Castañeda, S. P., Lezama-Mendieta, J. M., & Ampuero-Peñarenda, J. A. (2015). Sistema de relleno con mortero de relave para mejorar la confiabilidad del sostenimiento en la minería subterránea. *Sinergia e Innovación*, 3 Jul-dic 2015, 17–41.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.19083/sinergia.2015.433>.
- Arenas-Bustillos, W. F. (2001). *Sistema de relleno en pasta en la minas Ares* Universidad Nacional de Ingeniería. Retrieved from <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12034>
- Cabezas-Armellon, P. M. (2016). *Aplicación de relleno hidráulico para acelerar el ciclo de minado en la veta principal- Nv. 310 - empresa administradora chungar*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion. Retrieved from <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/117>
- Elorrieta-Agramonte, F. A., & Cordova-Rojas, N. D. (2019). Estudio del comportamiento del relleno cementado para maximizar la recuperación del mineral en el minado subterráneo. July), 8. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/334521174%0A>
- Gonzalo, A., & Alsidqi, H. (2015). *Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de caserones*. 6–12.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132015000100001>
- Huamán-Montes, L. wilder. (2007). *Aplicación de relleno hidráulico en la Mina Jimena de Compañía Minera Poderosa S.A.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Retrieved from <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3182>
- Marco A. Murillo. (2005). *Servicios auxiliares en Mina*. 1–67.
- Ortiz-S, O., Canchari-S, G., & Giraldo-P, M. (2011). Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 14 Enero-Junio, 37–46. Retrieved from <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/763>
- Romero, A. A., & Flores, S. L. (2012). Caracterización de la pasta de relave para uso como relleno en labores mineras. *Revista*, 13 0julio, 1–9. Retrieved from <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/427>



- Sotomayor-Simbron, D. M., & Ochoa-Ore, E. A. (2015). *Optimizacion tecnico economico de la resisenciadel relleno cementado considerando la reduccion del ancho de minado en los sectores de mayor potencia en u.e.a. andaychagua volcan compania minera S.A.A.* Universidad Nacional del Centro del Peru. Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1350>
- Sucasaca Pacombia, D. L. (2019). *Incremento de la produccion de mineral en los tajeos carlota y san jose mediante el metodo de explotacion corte y relleno ascendente mecanizado en la minera Arirahua S.A. - Arequipa* Universidad Nacional del Altiplano <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11105>