

TECNOLOGIAS Y TECNICAS, PARA EL RELLENO EN PASTA E HIDRAHULICO

Manejo y Abandono de Relaves Mineros

Ing. Rojas Linares Edito Luis



Lima 10 de Julio 2010

Historia y conceptos de Relleno Hidráulico

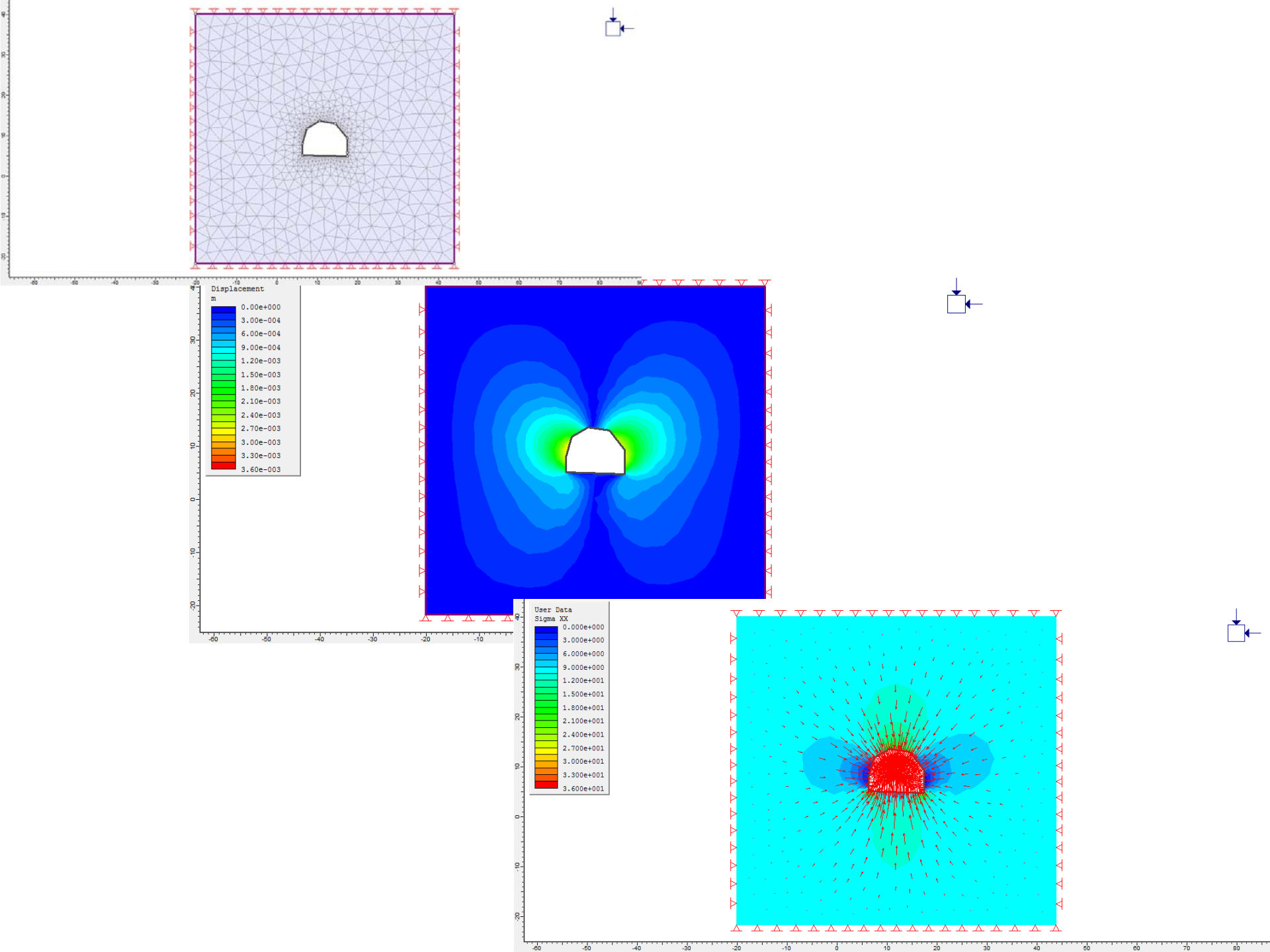
Las cavidades que se originan en la explotación de yacimientos subterráneos de mineral se comportan como un potencial de peligro bajo tierra y en superficie. Si en el pasado el material de relleno se descargaba a menudo por gravedad desde la superficie al interior a través de pozos y chimeneas, desde donde se distribuían mediante equipos de carga, hoy en día las bombas de materiales consistentes Putzmeister, combinadas con sistemas de tuberías cerrados, desempeñan una función importante en el llenado y la introducción de material de relleno en cavidades subterráneas.

La técnica del procedimiento del transporte hidráulico de materiales consistentes, se desarrolla durante años, permitiendo explotar partes de los yacimientos de forma más eficiente, específicamente reutilizando campos de explotaciones abandonadas.

Mejora de la explotación minera y la rentabilidad de los yacimientos

Transporte horizontal y vertical.

El uso de bombas de pistones, hace posible transportar material pastoso, como también de grano grueso y bajo contenido en agua, sobre grandes distancias verticales y horizontales a través de sistemas de transporte cerrados hasta el lugar de relleno, independientemente del entorno y sin obstaculizar la explotación en curso



**Bombas para materias consistentes,
accionadas hidráulicamente en un tubo oscilante de la serie KOS.**

Si se trabaja con material de relleno, granulado, con cuerpos extraños (de hasta 100 mm), se utilizarán bombas para materiales consistentes, en tubos oscilante sin válvulas, (bomba KOS) .

La característica distintiva de la serie KOS sin válvulas, es el tubo oscilante “S”.

El cambio entre los cilindros de aspiración y presión garantiza un funcionamiento prácticamente continuo y un paso libre del medio transportado.

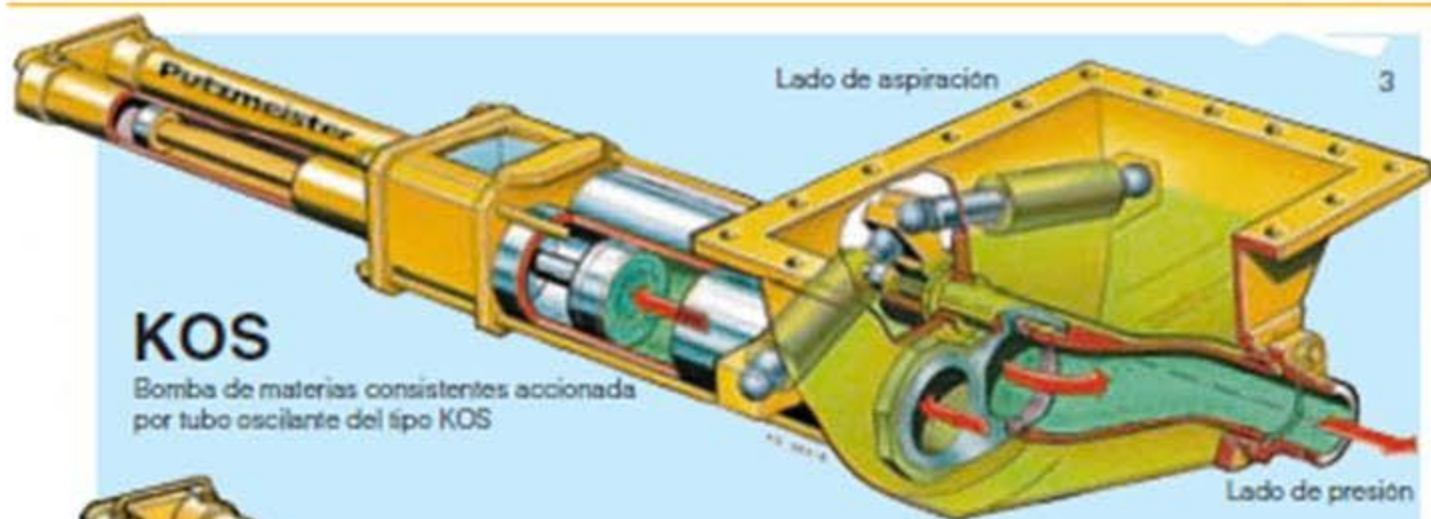
El material de relleno transportado puede contener partículas extrañas conteniendo hasta un tamaño de el 80 % del diámetro de salida. ***Con estas bombas para materiales consistentes pueden conseguirse rendimientos de hasta 500m³/h y presiones de transporte de hasta 100 bar.***

Bombas para materiales consistentes, accionadas hidráulicamente con válvulas, de la serie HSP.

Para material pastoso de grano fino, procedente de la preparación y cenizas, como material de relleno *se utiliza la bomba de pistones de válvula de asiento*, accionada hidráulicamente, de la serie HSP. *Están acondicionadas para rendimientos de hasta 500 m³/h y presiones de transporte de hasta 130 bar.*

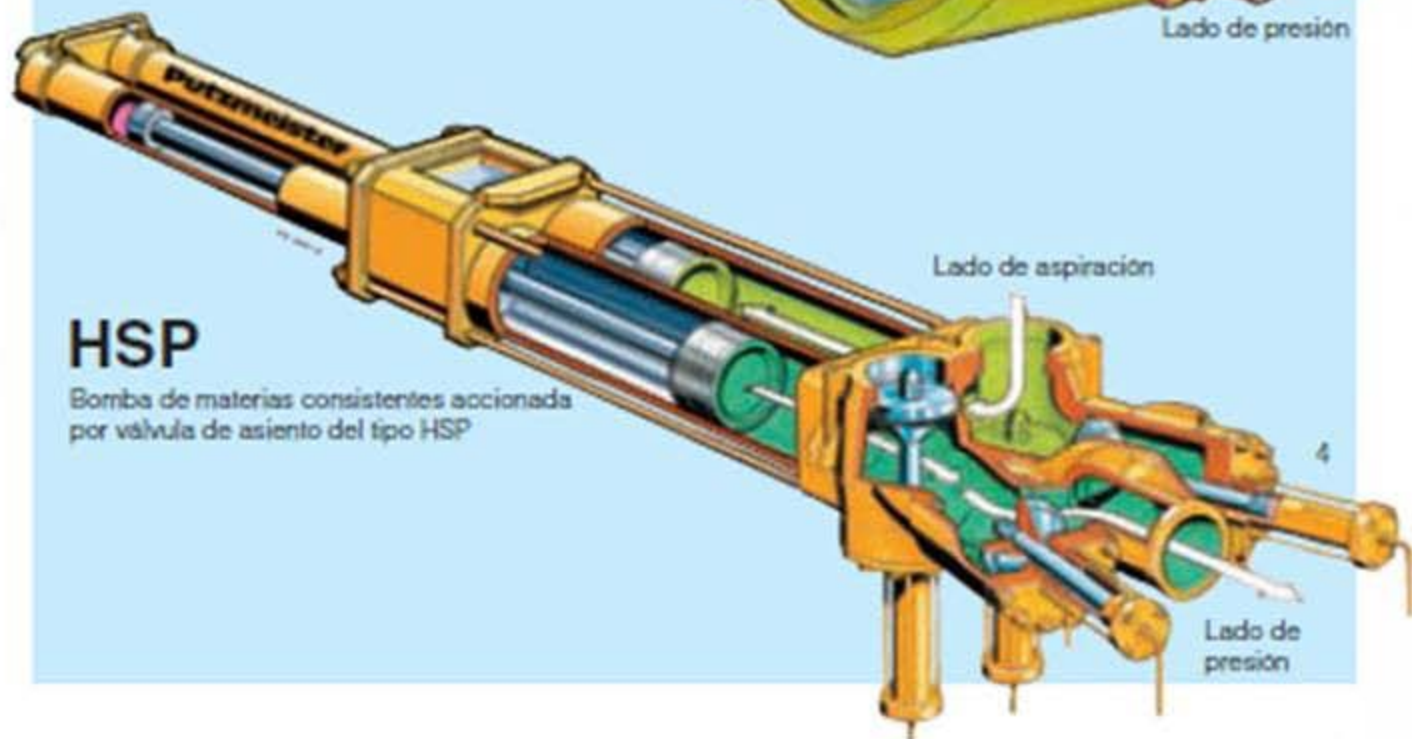
Aplicación en las explotaciones.

La aportación especial de material de relleno mediante bombas de pistones de Putzmeister de las series *HSP y KOS* abre la posibilidad de aplicar en el ciclo de la explotación de minas subterráneas, por ejemplo, en el método de explotación en corte y relleno ascendente , cámaras y pilares, etc.



KOS

Bomba de materias consistentes accionada por tubo oscilante del tipo KOS



HSP

Bomba de materias consistentes accionada por válvula de asiento del tipo HSP



Transporte de pulpa y pasta de diversa densidad

Bombeo de pulpa de papel de mediana consistencia (MC) en industrias papeleras, masas con contenido de gases y líquidos viscosos. Las bombas centrífugo-helicoidales se aplican también en la industria del cuero, pastas alimenticias, pinturas, químicos, etc.

CARACTERISTICAS

El Reto con los Relaves en Pasta

Construir una ruma estable – inhibir el flujo del relave

Para inhibir el flujo, la resistencia interna al corte tiene que incrementarse mediante:

- **Disecación (secado) - efectivo**
- **Consolidación debido a la carga de su propio peso – no muy efectivo en el corto plazo**
- **Crear una condición de licuefacción artificial de forma que se disipen las presiones de poro en exceso - muy efectivo pero requiere de más investigación y desarrollo**

Beneficios de la disposición en superficie de relaves en pasta

- La ausencia de pozas de agua sobre los relaves
 - Se reduce el riesgo
- Menos agua que manejar en el área de deposición
- Facilita el cierre progresivo
- Conserva el agua
 - Se recicla a la planta concentradora
- Pueden ser utilizado como relleno en los tajeos subterráneos
- Una menor área de disposición
 - Rumas más altas de relaves

Requerimientos Para una Ruma de Relaves en Pasta

- **Densificar para asegurar estabilidad – bajo carga estática (aumento de la altura) y carga dinámica (sismo)**
 - **Permanecer virtualmente saturada inhibiendo la oxidación**
 - **Ser accesible al tráfico de a pie y de equipos requiriendo una preparación razonable**
 - **Ser resistente a la erosión de la superficie durante la temporada de lluvias y a la contaminación eólica durante la temporada seca**
 - **Ser desarrollada de tal forma que facilite el cierre progresivo y minimice el costo del mismo.**
-

Angulo de Deposición

Pulpa de alta densidad vs Pasta

High Density Slurry



Paste



a. On flat terrain without dams



b. On gently sloping or flat terrain



c. In a valley



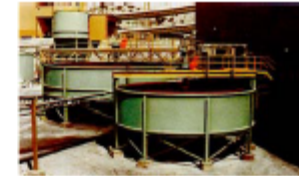
d. At the base of foothills or mountains



Placement Consistency

De-watering Equipment Required

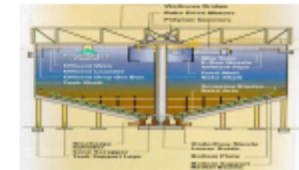
Slurry Placement



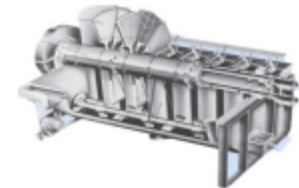
High Density
Slurry Placement



High Slump
Paste Placement



Low Slump
Paste Placement



Placement Consistency

Pumping System
Required

Slurry Placement



High Density
Slurry Placement



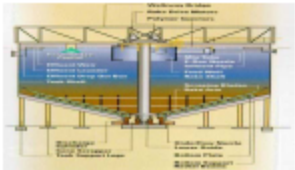



High Slump
Paste Placement



Low Slump
Paste Placement



<u>Placement Consistency</u>	<u>De-watering Equipment Required</u>	<u>Relative Capital Cost</u>	<u>Relative Operating Cost/Tonne</u>
Slurry Placement	 Conventional Thickener	1.0	\$0.20
High Density Slurry Placement	 High Compression Thickener	1.5	\$0.25
High Slump Paste Placement	 Deep Bed Thickener	2.0	\$0.30
Low Slump Paste Placement	 Filters	2.5	\$1.25

Placement Consistency

Slurry Placement



High Density
Slurry Placement



High Slump
Paste Placement



Low Slump
Paste Placement











Angle of Repose (Degrees)

1° - 2° (large water
containment dams)

2° - 3° (small rock berm)

3° - 6° (small rock berm)

6° - 10° (small rock berm)

<u>Placement Consistency</u>	<u>Angle of Repose(Degrees)</u>	<u>Increased Placement Volume</u>
Slurry Placement → 	→ 1° 	-
High Density Slurry Placement → 	→ 2° 	115%
High Slump Paste Placement → 	→ 5° 	450%
Low Slump Paste Placement → 	→ 7° 	700%

Placement Consistency

Potential Water Recoverable
(% of ex-process slurry water)

Slurry Placement



53%

High Density
Slurry Placement



67%

High Slump
Paste Placement



82%

Low Slump
Paste Placement



88%

Relavera Bulyanhulu

- κ **Rumas de pasta de 12m de alto**
- κ **Estabilización de los relaves mediante desecación.**
- κ **Cero descarga de agua al ambiente**
- κ **Dique de contención sin drenes ni recubrimiento**
- κ **Cierre progresivo.**



Relaves espesados desaguados a un slump de 10" pulgadas

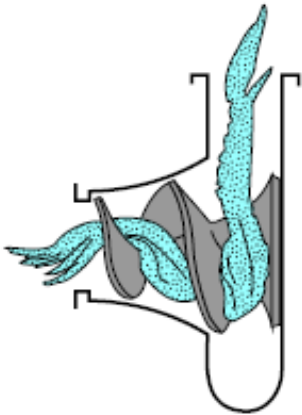


Disposición de relaves en pasta

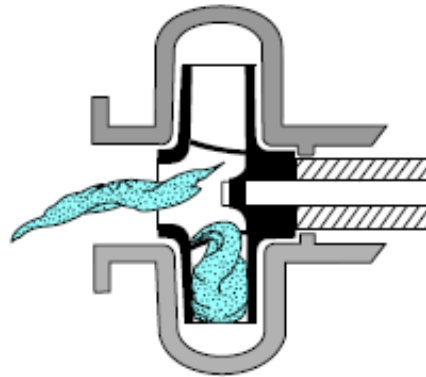


Relleno Hidráulico

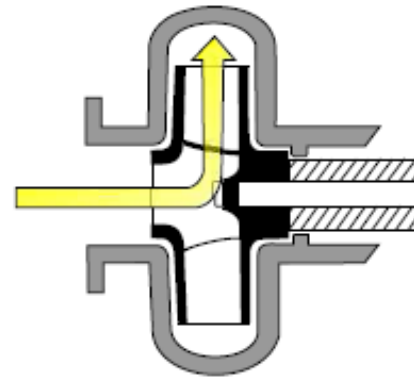
Conceptos básicos del Impulsor Centrifugo - helicoidal



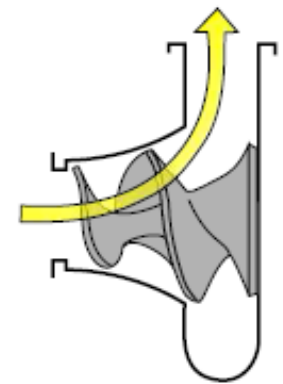
Las bombas con impulsor de pasaje abierto HIDROSTAL, permiten la libre salida de materiales fibrosos y textiles.



En bombas convencionales, los canales de impulsión son a menudo causa de atascamiento con fibras y textiles.



La dirección de flujo en bombas convencionales sufre un abrupto cambio de dirección de 90° al entrar en el impulsor.



En las bombas con impulsor CENTRIFUGOHELICOIDAL el flujo describe un suave movimiento parabólico.

Cualidades de los impulsores centrífugo-helicoidales

Capacidad de bombear líquidos y sólidos en suspensión de diversa densidad

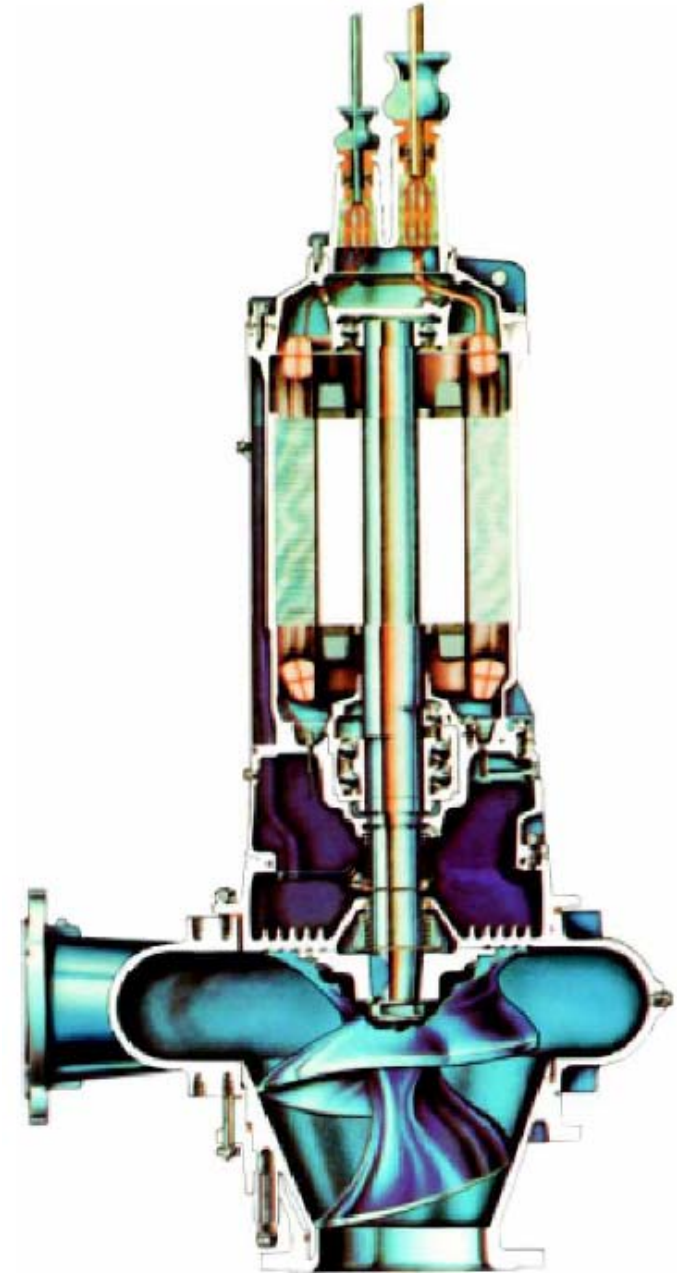
Las bombas HIDROSTAL son preferidas por su amplio rango de eficiencia, comprendido desde aplicaciones que requieren bombas centrífugas y se extiende hasta aplicaciones para bombas de desplazamiento positivo.

Bombeo suave

Por el amplio pasaje abierto desde la succión hasta la descarga y el flujo sin cambios abruptos de dirección, las bombas HIDROSTAL, tienen un bombeo suave y pueden implementarse en diversos sistemas donde se excluyen las bombas centrífugas, por el duro trato que dan al fluido al bombear.

Bombeo sin atascamientos

El pasaje libre, una curva altura-capacidad muy inclinada, una curva de potencia que no presenta sobrecarga, la capacidad de bombear fibras y plásticos, así como su versatilidad para la instalación, facilitan la selección de la bomba HIDROSTAL para toda aplicación con tendencia al atascamiento.





2.0.0. ASPECTO CONCEPTUAL DEL RELLENO HIDRÁULICO

2.1.0. GENERALIDADES

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.

Se define como relleno hidráulico al material que es transportado en forma de pulpa por tuberías¹. En su mayoría el material es el relave de planta concentradora, pero también se utiliza arenas glaciares y otros materiales granulares que se encuentra en la naturaleza.

El relleno hidráulico tiene las siguientes aplicaciones:

- Proveer una plataforma de trabajo.
- Evitar el movimiento y caída de las rocas.
- Facilitar la recuperación de pilares.
- Evitar o minimizar la subsidencia.
- Estabilizar el macizo rocoso en las minas, reduciendo la posibilidad de estallidos de roca.
- Controlar y prevenir incendios en las minas. • Minimizar la deposición de relaves o material rocoso en superficie ayudado al control ambiental.

2.1.1. VENTAJAS DEL RELLENO HIDRÁULICO.

- Cuando se utiliza relave de una planta concentradora el costo de la obtención del material es cero, ya que la planta cubre los costos de reducción de tamaño del material.
- Cuando se utiliza el material detrítico producto de las labores de preparación y desarrollo se contribuye a maximizar la vida útil de las desmonteras y asimismo se minimiza el impacto ambiental.
- El transporte en tuberías es mucho más económico, eficiente y rápido que con otro tipo de transporte.
- Al depositarse el relleno en el tajo en forma de pulpa tiende a buscar su nivel en forma natural, eliminando así la necesidad de utilizar recursos adicionales para esparcirlo manual o mecánicamente.
- El relleno hidráulico por la granulometría del material que es de fácil control permite una alta resistencia al movimiento de las cajas.
- El relleno hidráulico permite aumentar la eficiencia y productividad en los tajos debido a la disminución del consumo de madera y a la reducción del costo de minado por la versatilidad que brinda.

2.1.2. DESVENTAJAS DEL RELLENO HIDRÁULICO

- El sistema de relleno hidráulico requiere una alta inversión de capital, para lo cual es necesario tener un sustento financiero de aplicabilidad.
- La introducción de agua en el relleno a la mina es un problema si el drenaje se realiza por bombeo.
- Cuando se utiliza material con contenidos altos de piritita o pirrotita, al oxidarse estos sulfuros se produce una reacción exotérmica lo cual eleva la temperatura y produce anhídrido sulfuroso.
- En el agua de drenaje del relleno siempre arrastra cierta cantidad de finos los cuales se depositan en los niveles inferiores de las labores rellenadas.

2.2.0. PULPA

Se define como pulpa a la mezcla constituida por una fase sólida y una líquida, donde la fase líquida transporta a la sólida en suspensión.

2.2.1. PULPA HOMOGÉNEA

Este tipo de pulpa se comporta como un fluido plástico de Bingham, es decir que las propiedades del agua se afectan por la presencia de los sólidos, por ejemplo las arcillas.

2.2.2. PULPA HETEROGÉNEA

Los relaves, arenas, concentrados de minerales se comportan como mezclas, ya que el líquido y los sólidos se comportan independientemente, denominándose al conjunto sólido-líquido, mezcla o pulpa heterogénea.

2.3.0. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A TRANSPORTAR

Las características más importantes de los sólidos que influyen en su transporte son:

2.3.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

Es la relación entre el peso específico del sólido y el peso específico del agua. Por ejemplo los sólidos que con mayor frecuencia se transporta son:

MATERIAL SÓLIDO GRAVEDAD ESPECÍFICA

Asfalto	1.05
Carbón	1.40
Fosfatos	2.70
Caliza	2.70
Concentrado de cobre	4.30
Mineral de hierro	4.90

2.3.3. DUREZA DE LOS SÓLIDOS

Esta característica determina el tipo y material del equipo a utilizarse en su transporte. En la tabla siguiente se da el grado de dureza de materiales sólidos según la escala de Mohs.

MATERIAL

Carbón (malla 30)
Lignito 2
Caliza 3
Carbón (malla 16)
Magnetita
Concentrado de cobre
Fosfatos
Pirita
Calcopirita

ESCALA MOHS

1 (talco)
(yeso)
(calcita)
4 (fluorita)
5 (apatito)
6 (ortosa)
7 (cuarzo)
8 (topacio)
9 (corindón)

La abrasividad del material sólido tiene una relación directa con la escala de Mohs:

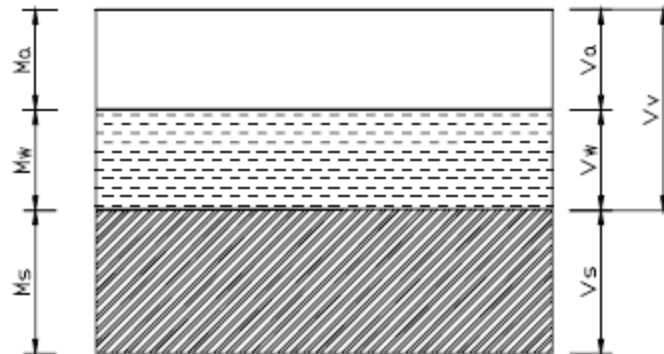
ESCALA MOHS ABRASIVIDAD

- 1 – 3 No abrasivo
- 3 Ligeramente abrasivo
- 4 – 6 Medianamente abrasivo
- 7 – 9 Altamente abrasivo

2.3.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL RELLENO HIDRÁULICO

a. POROSIDAD (%)

Es la relación entre el volumen de vacíos y el volumen total del material. Si la porosidad se expresa en porcentaje (%), se denomina porcentaje de vacíos.



Relación de Vacíos (e)= V_v/V_s

RELLENO	s
Arenosos	0.6 – 0.9
Areno-arcillosos	0.8 – 1.6
Arcillosos	1.5 – 2.5

- **Relación de Vacíos Máxima (e_{max})**

Se expresa mediante la siguiente relación:

$$e_{max} = \left(\frac{S_g}{D_{min}} \right) - 1$$

Donde:

S_g = Gravedad específica de los sólidos (TM/m^3)

D_{min} = Densidad mínima (TM/m^3)

- **Relación de Vacíos Mínima (e_{min})**

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$e_{min} = \left(\frac{S_g}{D_{max}} \right) (1 + w) - 1$$

Donde:

S_g = Gravedad específica de los sólidos (TM/m^3)

D_{max} = Densidad máxima (TM/m^3)

w = Porcentaje de humedad con la que se determina la densidad máxima.

c. CONTENIDO DE HUMEDAD (w)

Expresado por:

$$w = \left(\frac{M_w}{M_s} \right) \times 100$$

Donde:

M_w = masa de agua

M_s = masa de sólidos

d. GRADO DE SATURACIÓN (S_r)

Definido por:

$$S_r = \left(\frac{V_w}{V_v} \right) \times 100$$

Para las arenas se tiene la siguiente clasificación por su contenido de humedad:

CONDICIÓN DE ARENA	W (%)
Seca	0
Ligeramente húmeda	1 – 25
Húmeda	26 – 50
Muy húmeda	51 – 75
Mojada	76 – 99
Saturada	100

e. COHESIÓN (c)

Es la atracción existente entre las partículas de un suelo, originada por las fuerzas moleculares y las películas de agua. La cohesión de un relleno variará si cambia su contenido de humedad, en las arenas la cohesión es prácticamente nula.

f. FRICCIÓN INTERNA (ϕ)

Es la resistencia al deslizamiento debido a la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas. Depende de la granulometría del material, de la forma de las partículas y de su densidad. En caso del material fino, se tendrá una fricción interna baja. En caso de arenas el ángulo de fricción interno es alrededor de 30° .

MATERIAL	CONDICIÓN SUELTA	CONDICIÓN DENSA
Arenas y gravas	33° - 36°	45° - 47°
Arenas medias	30° - 33°	40° - 45°
Arenas finas	26° - 30°	32° - 38°
Arenas limosas (muy finas)	25° - 30°	30° - 35°

2.3.5. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Determina la distribución del tamaño de las partículas o granos que constituyen un material. Esta distribución se analiza en base a su porcentaje de su peso total. La fracción muy gruesa consiste de fragmentos de rocas compuestas de uno o más minerales, pudiendo estas ser angulares, redondeados o planos. Pueden ser frescos o mostrar signos de alteración, resistentes o deleznable. Esta fracción recibe el nombre genérico de grava. En las fracciones finas y muy finas, cada grado está constituido de un solo mineral. Las partículas pueden tener formas angulares, tubulares o escamas, pero nunca redondeadas. A continuación se presenta los rangos de tamaño en que varían las partículas:

MATERIAL	TAMAÑO	
	DESDE	HASTA
Finas		0.075 mm
Arenas	0.075 mm	0.085 mm
Gruesos	0.085 mm	5 mm

2.3.6. DIAMETRO EFECTIVO (D_{10})

Es el tamaño de las partículas que corresponden al ~~10%~~ del producto más fino.

2.3.7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (C_u)

Se define como la razón del diámetro de partícula mas grande que se encuentra en el 60% de fracción acumulativa (-) del material, al diámetro de la partícula de mayor tamaño presente en el 10% de la fracción acumulativa (-) del material². Se calcula dividiendo el D_{60} entre el D_{10} del material.

2.3.8. VELOCIDAD DE PERCOLACIÓN ($V.P.$)

Es una medida de la velocidad con el que el agua pasa a través del material de relleno. Teóricamente se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V.P. = \left(D_{10} \times \frac{6}{100} \right)^2$$

Donde:

$V.P.$: se expresa en cm/h

D_{10} : se expresa en micrones (μm)

2.3.9. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL RELLENO³

Para observar el comportamiento mecánico del relleno se deberá considerar los siguientes parámetros:

1) **Densidad Relativa (D_r).**- Expresa el estado de compactación de relleno arenoso y está definida por la siguiente ecuación:

$$D_r = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon}{\epsilon_{max} - \epsilon_{min}}$$

También se puede expresar en función de densidades:

$$D_r = \frac{\rho_{max}(\rho - \rho_{min})}{\rho(\rho_{max} - \rho_{min})}$$

Donde:

- ϵ_{max} : relación de vacíos del relleno en su estado mas suelto, estable.
- ϵ_{min} : relación de vacíos en el estado mas denso que puede obtenerse en laboratorio.
- ϵ : relación de .
- ρ_{max} : densidad máxima.

- $\rho_{\text{mín.}}$: densidad mínima.
 ρ : densidad del relleno.

La densidad relativa del relleno está en función de tres factores principales: forma de los granos, granulometría y la manera de depositarse:

- a. Los rellenos constituidos por partículas con formas angulares tienden a tener una densidad relativa baja y son susceptibles a un fuerte reordenamiento y reducción de volumen.
- b. La granulometría es el factor de mayor influencia en la densidad relativa, lo ideal es que el material sea bien graduado, de tal manera que se reduzca los vacíos al mínimo.
- c. La manera de depositarse el relleno hidráulico influye también en la densidad relativa del mismo. La deposición del relleno en un solo punto permite que a cierta distancia las partículas sólidas se sedimenten en un ambiente calmo y sin perturbación. Una manera de esta sedimentación permite que los granos se acomoden en forma de arcos o bóvedas naturales, los cuales ante una presión o vibración tienden a reordenarse y ocupan más eficientemente los espacios.

Para impedir la formación de bóvedas se recomienda depositar el relleno en varios puntos del tajo y evitar así la sedimentación imperturbada.

Si bien una alta densidad relativa es conveniente para el propósito de contrarrestar el movimiento de las cajas, ésta se logra a expensas de algunas propiedades dependientes.

- El volumen del tajo relleno con una tonelada de relleno disminuye.

- Si aumenta la densidad relativa disminuye la percolación, ya que disminuye el área de los conductos por donde percola el agua, esto se puede terminar con la expresión siguiente:

$$\frac{V.P.(1)}{V.P.(2)} = \frac{e_{(1)}^2}{e_{(2)}^2}$$

- La cantidad de agentes cementantes (cuando se usan), es menor, pues con un contacto más íntimo entre la partículas se requerirá menor cemento para adherir una con otra.
- Si el aumento de la densidad relativa se obtiene mediante la regulación de la granulometría, el coeficiente de uniformidad también aumenta.

En resumen, la mejora de ciertas propiedades puede implicar otras, por lo que existe una densidad relativa óptima con la cual se obtiene una combinación óptima de propiedades.

2) Efecto del Agua en el Relleno Hidráulico.- El agua puede presentarse en el relleno hidráulico en dos formas:

- a. En forma de partículas alrededor de los granos.
- b. Ocupando parte o todos los vacíos entre los granos del material.

Si los vacíos están completamente llenos con agua, el relleno está saturado y la mezcla se dice que es continua, si los vacíos están parcialmente llenos, la mezcla es discontinua formando cuñas de agua entre los granos adyacentes y películas de mezcla alrededor de ellas.

Muchos de los rellenos hidráulicos probablemente desarrollen superficies capilares, al menos temporalmente. Estas superficies pueden ser engañosas ya que las tensiones capilares tienden a consolidar la superficie del relleno, haciendo que el relleno parezca más firme de lo que es en profundidad.

- 3) **Presión Neutra (U_w) y Presión Efectiva (P).**- Una arena suelta ya saturada bajo carga, en la que no se permite el drenaje, desarrolla presiones entre grano y grano y una presión neutra en el agua dentro de los poros, es decir:

$$P = P - U_w$$

Donde:

- P = presión efectiva (grano a grano)
- P = presión total
- U_w = presión en el agua de los poros

Cuando U_w es iguala a la presión total, la presión efectiva es igual a cero. En términos de fallamiento:

$$\bar{\sigma} = \sigma - U_w$$

Donde:

- $\bar{\sigma}$ = tensión efectiva grano a grano al momento de fallar.
- σ = tensión normal en el plano de falla.

Por lo tanto, a medida que U_w tiende a σ , $\bar{\sigma}$ tiende a cero. Debido a que la tensión efectiva al momento de fallar, la tensión de corte también tiende a cero. Entonces, la arena se vuelve inestable y puede licuarse. En un tajo relleno, esta condición puede darse por efectos de voladura en rellenos sueltos saturados.

- 4) **Consolidación.-** Es el cambio de volumen de una carga constante a medida que transcurre el tiempo. Se diferencia de la compresión, en que en ésta hay un cambio de volumen debido a un incremento de carga.

El relleno tiende a consolidarse bajo cargas estáticas, tales como las que ocurren cuando el tajeo tiende a cerrarse. Esta consolidación inicial puede ser muy grande en rellenos sueltos, mientras que en rellenos densos tienen menor tendencia a consolidarse bajo cargas estáticas. Después de una consolidación inicial ocurre una consolidación secundaria más lenta tanto en rellenos sueltos como en densos.

- 5) **Compactación.-** Es la densificación artificial de los suelos. Los materiales cohesivos se compactan mejor bajo cargas dinámicas. La eficiente compactación de estos materiales a su máxima densidad está en muchos casos, en relación al contenido de agua del material. La cantidad de agua presente debe ser suficiente como para lubricar las partículas; un exceso de agua llenará los vacíos y creará tensiones neutras positivas en el suelo, reduciendo así su densificación.

En materiales no cohesivos, como muchos rellenos, no se llega generalmente a su máxima densidad mediante la aplicación de cargas estáticas o dinámicas, siendo necesario el uso de vibradores.

- 6) **Cementación.-** La cementación de los rellenos hidráulicos pueden tomar muchos años, dependiendo principalmente de la composición química del relleno.

Los rellenos provenientes de relaves pobres en sulfuros muestran un grado de cementación baja. En realidad la cementación ocurre en estos rellenos, en un periodo corto de tiempo, pero las altas temperaturas debido a las oxidaciones son una desventaja para la cementación.

- 7) **Compresibilidad.**- Los rellenos hidráulicos son los menos compresibles de todos los rellenos usados como soporte en minería subterránea. Rara vez se comprimen más del **20%**, variando generalmente entre **5%** y **10%**.

La resistencia del relleno no se desarrolla hasta que el contenido de agua ha sido reducido de un semifluido a una condición consolidada.

MATERIAL CONFINADO IMPEDIDO A MOVERSE LATERALMENTE	TONELADAS NETAS POR m ³ PARA PRODUCIR UNA COMPRESION DE:					CARGA Y COMPRESIÓN AL FINAL DEL ENSAYO	
	3%	5%	10%	20%	30%	CARGA (TM)	COMPRESIÓN (%)
Arenisca rota	35.8	59.7	143.4	501.6	1061.3	666	35
Arenisca rota y arena	37.7	62.1	262.9	3320.7	-	666	33
Cenizas de carbón secas	10.8	20	57.3	116.3	269.1	666	51
Cenizas de carbón húmedas	-	-	-	59.2	236.8	666	51
Arena seca	32.3	56.7	358.4	1388.5	5371.2	666	32.2
Arena húmeda	423	712.2	1870	5978.3	-	666	20.75

Quadro Nº 12: Compresibilidad de materiales de relleno.

CARACTERÍSTICAS	ARENAS	ARCILLAS
Relación de vacíos	Baja	Alta
Cohesión	Baja	Acentuada función de la humedad
Fricción interna	Alta	Baja
Compresibilidad	Ligera	Alta, función del tiempo
Permeabilidad	Variable	Impermeable

Quadro Nº 13: Características de rellenos arenosos y arcillosos.

b) 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.

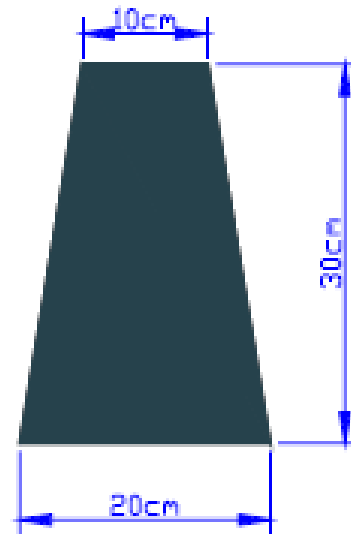


Figura N° 11: Cono para prueba de Slump.

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 1" para que se puedan depositar y acomodar en el tajeo.

3.4.8. ALTURA MÁXIMA (h_2) QUE ALCAZARÁ EL R/H RESPECTO AL NIVEL MAS BAJO DE INTERIOR MINA - NV 1815.

Para calcular la máxima altura a la que puede llegar el relleno hidráulico en interior mina, es necesario considerar la Ecuación de Bernoulli.

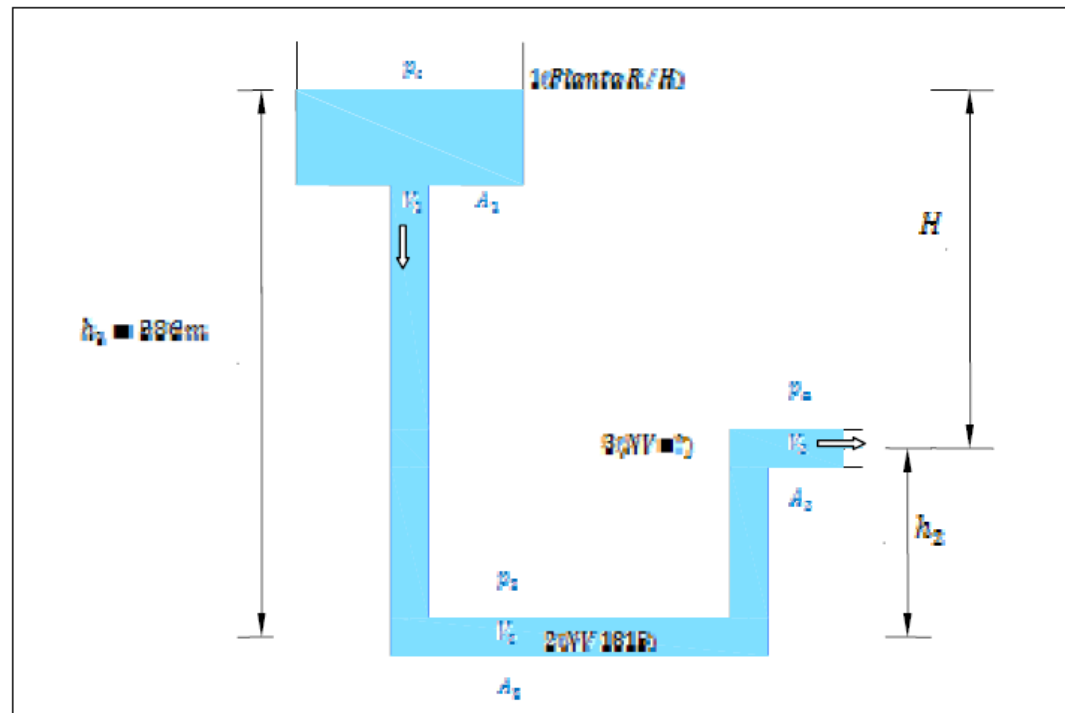


Figura N° 23: Esquema del sistema de tuberías de relleno hidráulico.

Donde:

A = Área de la sección de la tubería

V = Velocidad de la pulpa

$p =$ Presión

$p_a =$ Presión atmosférica

$h =$ Altura

$H =$ Diferencia de cotas entre la Planta R/H y el pto.3

$g =$ Aceleración de la gravedad = 9.81 m/s^2

$\omega =$ Gravedad específica = 1.90 kg/L

$Q =$ Caudal

Analizando por la *Ley de Bernoulli*:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\omega} + \frac{(V_1)^2}{2g} = Z_2 + \frac{p_2}{\omega} + \frac{(V_2)^2}{2g} + H_{pct}$$

Donde, observando la figura anterior:

$$Z_1 = h_1 = 586 \text{ m}$$

$$V_3 = 4.59 \text{ m/s}$$

$$Z_3 = h_2$$

$$p_1 = p_2 = p_a$$

$$V_1 = 0$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Entonces, reemplazando:

$$586 \text{ m} + \frac{p_a}{\omega} + 0 = h_2 + \frac{p_a}{\omega} + \frac{(4.59 \text{ m/s})^2}{2 \times 9.81 \text{ m/s}^2} + 505 \text{ m}$$

$$586 \text{ m} = h_2 + 1.07 \text{ m} + 505 \text{ m}$$

$$h_2 = 586 \text{ m} - (1.07 \text{ m} + 505 \text{ m}) = 79.93 \text{ m} \approx 80 \text{ m}$$

Por lo tanto el R/H alcanzará una altura máxima:

$$h_2 = 80 \text{ m}$$

3.6.1. PREPARADO DEL TAJEO

El primer paso es la limpieza del mineral fino que queda en el tajeo; luego se prepara el tajeo para el relleno tapando todas las zonas de posibles fugas del material de relleno colocando tapones o barreras; en esta operación se utiliza madera redonda de 6" x 10" para los postes, y tablas de 2" x 8" x 10" para el enrejado dejando un espacio de 2" entre tablas. Estas barreras se cubren con tela de polipropileno o poliyute (de 8 a 10 onzas de peso por metro cuadrado), la cual se clava a las tablas un tanto floja para que el relleno pueda amoldarse a las formas de la madera. El contorno de esta tela va fijada a la pared del tajeo con una mezcla de cemento y yeso (diablo fuerte).

Otra cuadrilla de operarios va instalando la tubería de polietileno de 4" hacia el tajeo a rellenar desde la red de tubería principal de relleno. Cabe señalar que el relleno es enviado desde superficie (NV 2375) hasta los niveles inferiores (NV 1937 y NV 1815) a través de una tubería de 4" por gravedad y que luego desde los niveles inferiores se reparten a las diferentes labores a rellenarse.

3.6.2. RELLENADO DEL TAJEO

Una vez preparado el tajeo, el operador de superficie procede a enviar agua para lavar la red de tuberías con la finalidad de evacuar posibles vestigios de relleno de anteriores envíos y comprobar que la tubería no esté atorada.

En seguida el operador de interior mina observa que llegue el agua al tajeo y se comunica por teléfono con el operador de superficie solicitando el envío de la pulpa.

En lo posible debe evitarse que las barreras no reciban el impacto directo de la pulpa para evitar deterioros de la misma.

El proceso de rellenado continúa hasta que el operador de interior mina comunique el termino del proceso o alguna parada por algún problema; este operador debe cuidar que el drenaje de agua se realice correctamente, para lo cual se utiliza tubos ranurados de $\varnothing 4"$.

El relleno utilizado llega a percolar a 12 cm/hora necesitando esperar menos de 2 horas para el secado de dicha lama para continuar con el proceso de minado.

En la práctica se ha comprobado que un coeficiente de permeabilidad de 10 cm/hora es el ideal para la consolidación de un relleno. Un coeficiente de permeabilidad menor de 5 cm/hora se dice que demora excesivamente en eliminar el agua; en cambio un coeficiente de permeabilidad mayor de 20 cm/hora puede causar el fenómeno de embudo, por el cual se forma pequeños conductos abiertos dentro de la masa de relleno a través de los cuales fluye la pulpa a gran velocidad saliendo buena cantidad de relleno a las galerías.

En la Mina Jimena, no se tiene problemas con la percolación, ni con la resistencia al hundimiento de relleno una vez rellenado el tajeo; pues el relleno resiste pisadas de un hombre (0.5 Kg/cm^2) desde el momento que esta rellenándose el tajeo. El relleno tiene una resistencia de hundimiento de 0.80 kg/cm^2 a las 12 horas de vaciado la pulpa.

Al culminar el proceso de rellenado, el operador de superficie debe enviar agua para lavar la tubería.

En la **Figura N° 25** se esquematiza el proceso de minado de un tajeo con corte y relleno hidráulico en forma ascendente.

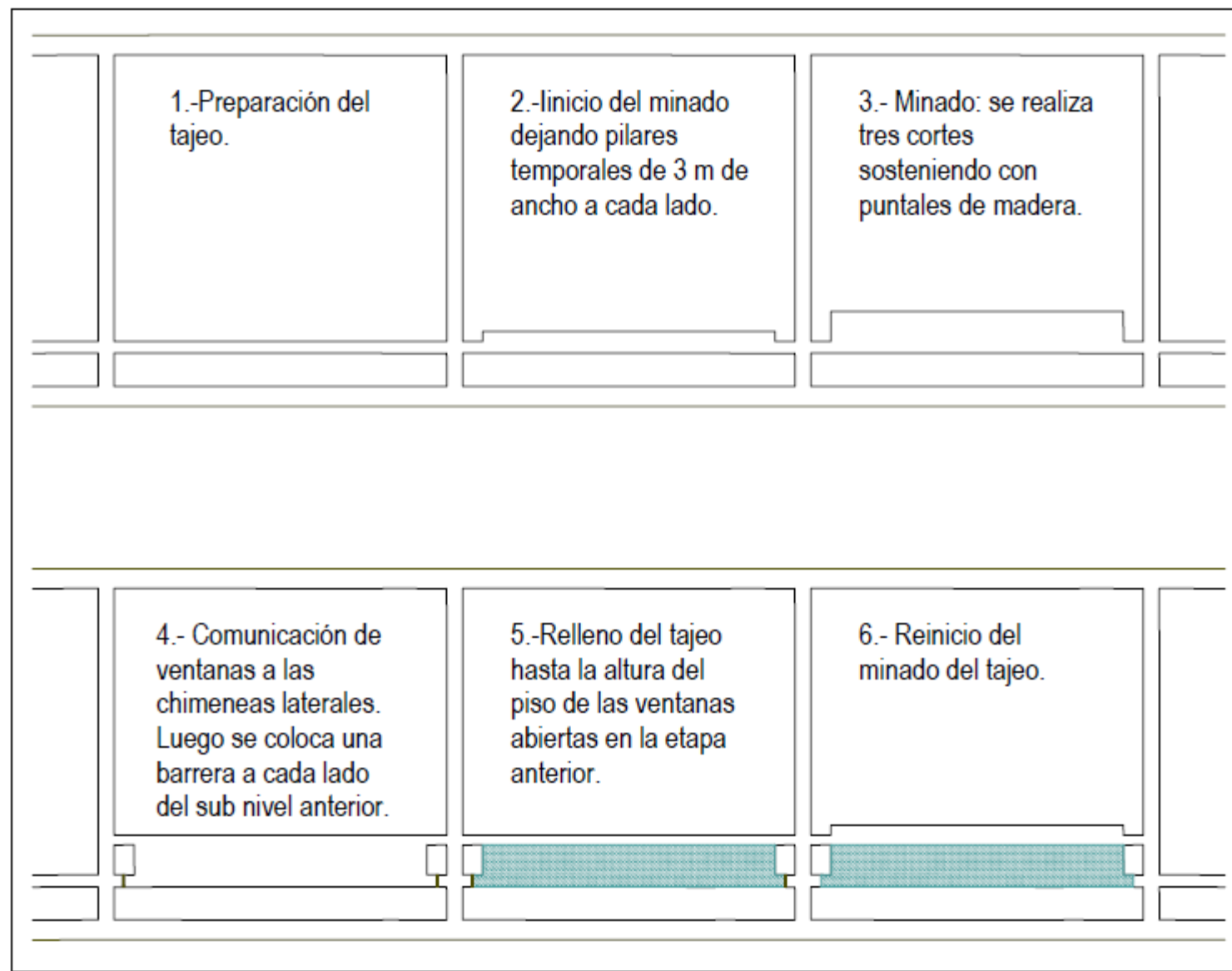


Figura N° 25. Proceso de minado de un tajeo con aplicación de R/H.

3.6.3. PROBLEMAS EN EL PROCESO DE RELLENADO

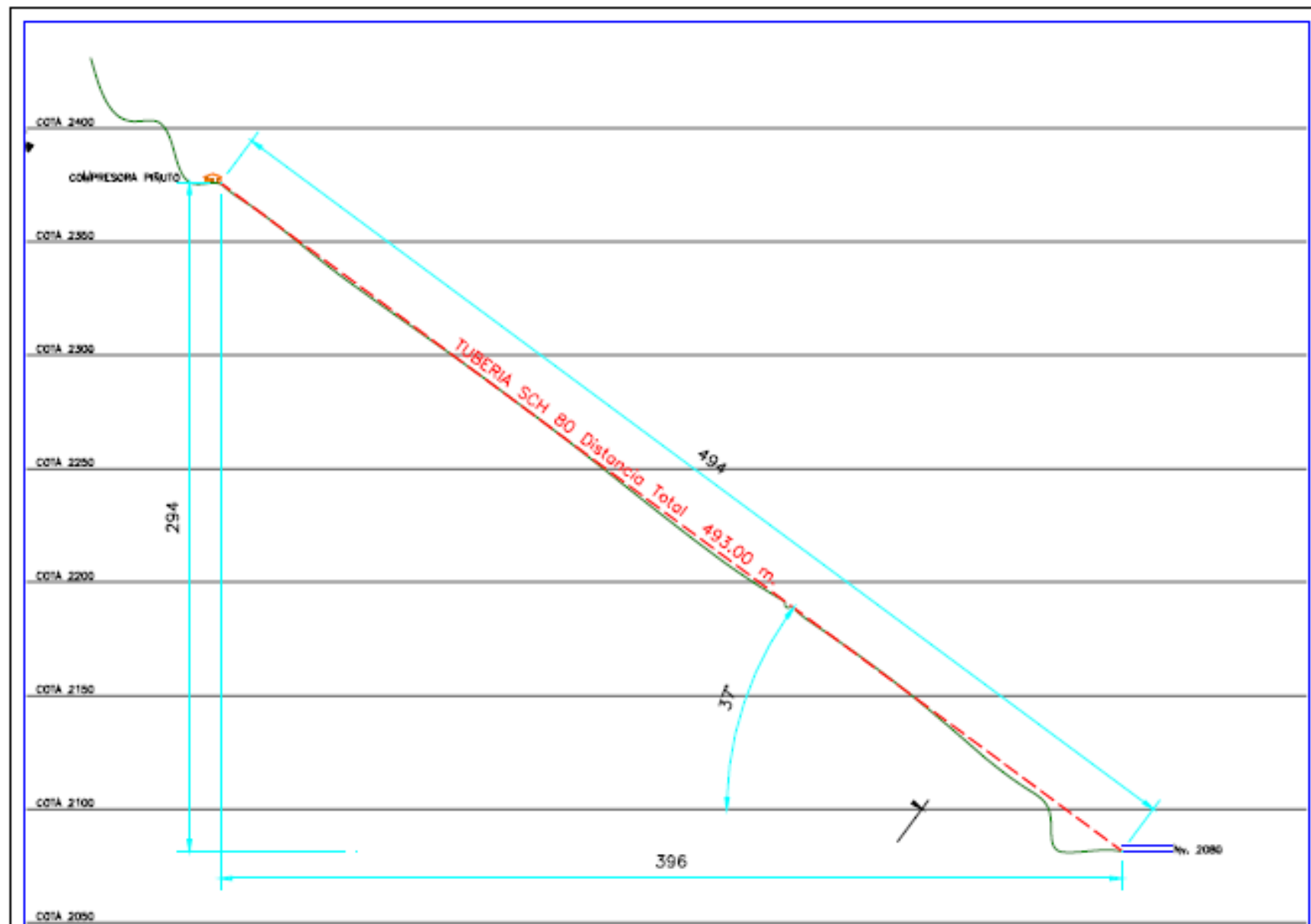
Los desgastes de tuberías son consecuencia del rozamiento de la pulpa contra las paredes de la tubería. La duración de las tuberías depende de la ubicación y ángulo de inclinación que tengan. Las tuberías instaladas verticalmente tiene poco desgaste cuando están instaladas a plomo y bien aseguradas; mientras que las tuberías instaladas en forma horizontal tienen un mayor desgaste en la parte inferior, por lo que es recomendable hacer una rotación de las tuberías cada cierto tiempo para tener un desgaste uniforme.

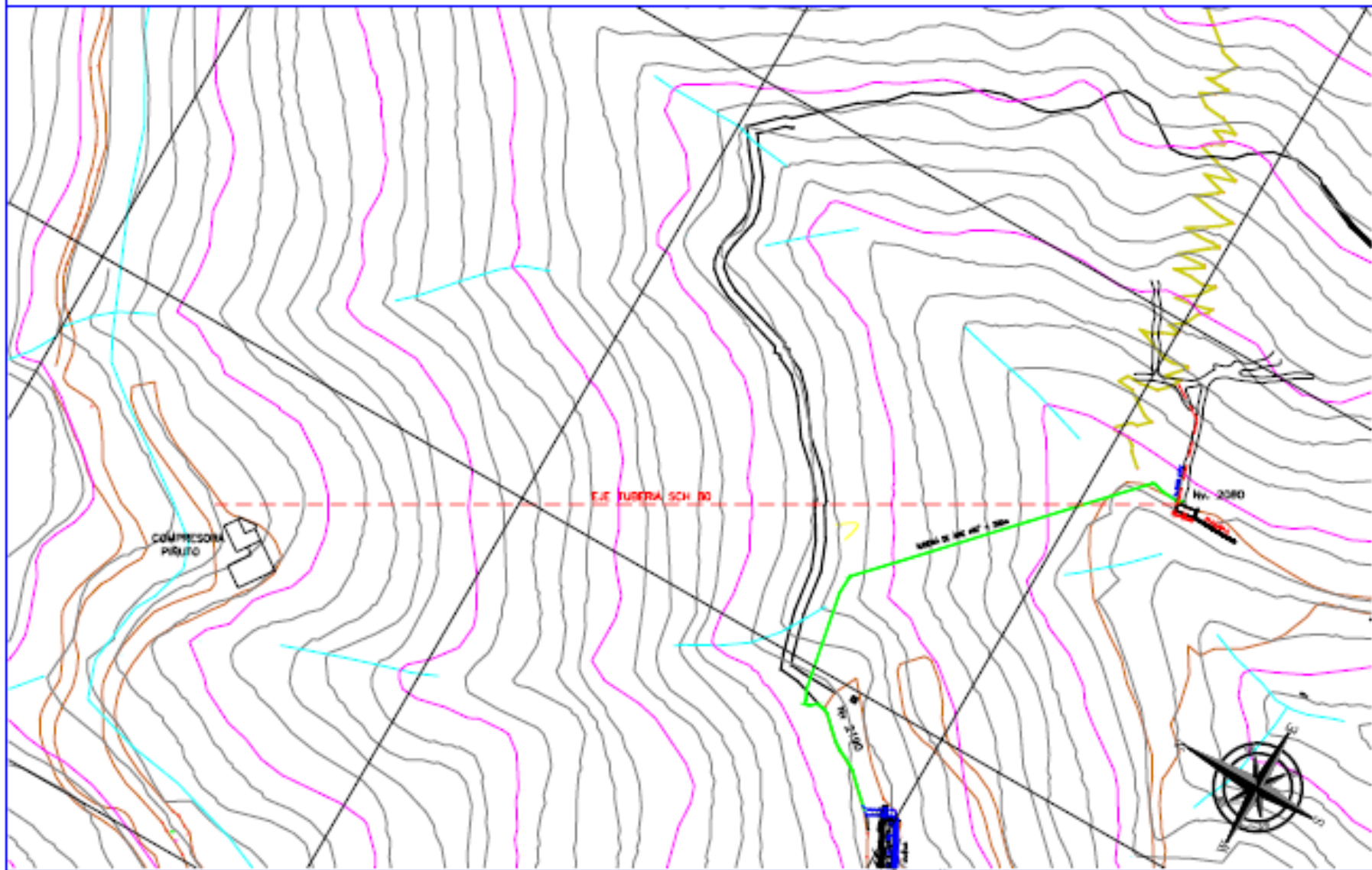
3.6.4. TIEMPO NETO DE RELLENO DE UN TAJEO

En los acápite anteriores se determinó que la pulpa del relleno hidráulico tiene una composición en peso de 76% d sólidos y 24% de agua aproximadamente.

También se considerará en forma supuesta que por el proceso de drenaje se elimine solamente agua, logrando al final un relleno in-situ con una composición aproximada del 85% de sólidos y 15% de agua, entonces si podremos calcular el tiempo neto de relleno de un tajeo.

APÉNDICE V: Ubicación de Planta de Relleno Hidráulico (NV 2375).





COMPAÑIA NEBRERA PODEROSA S.A.

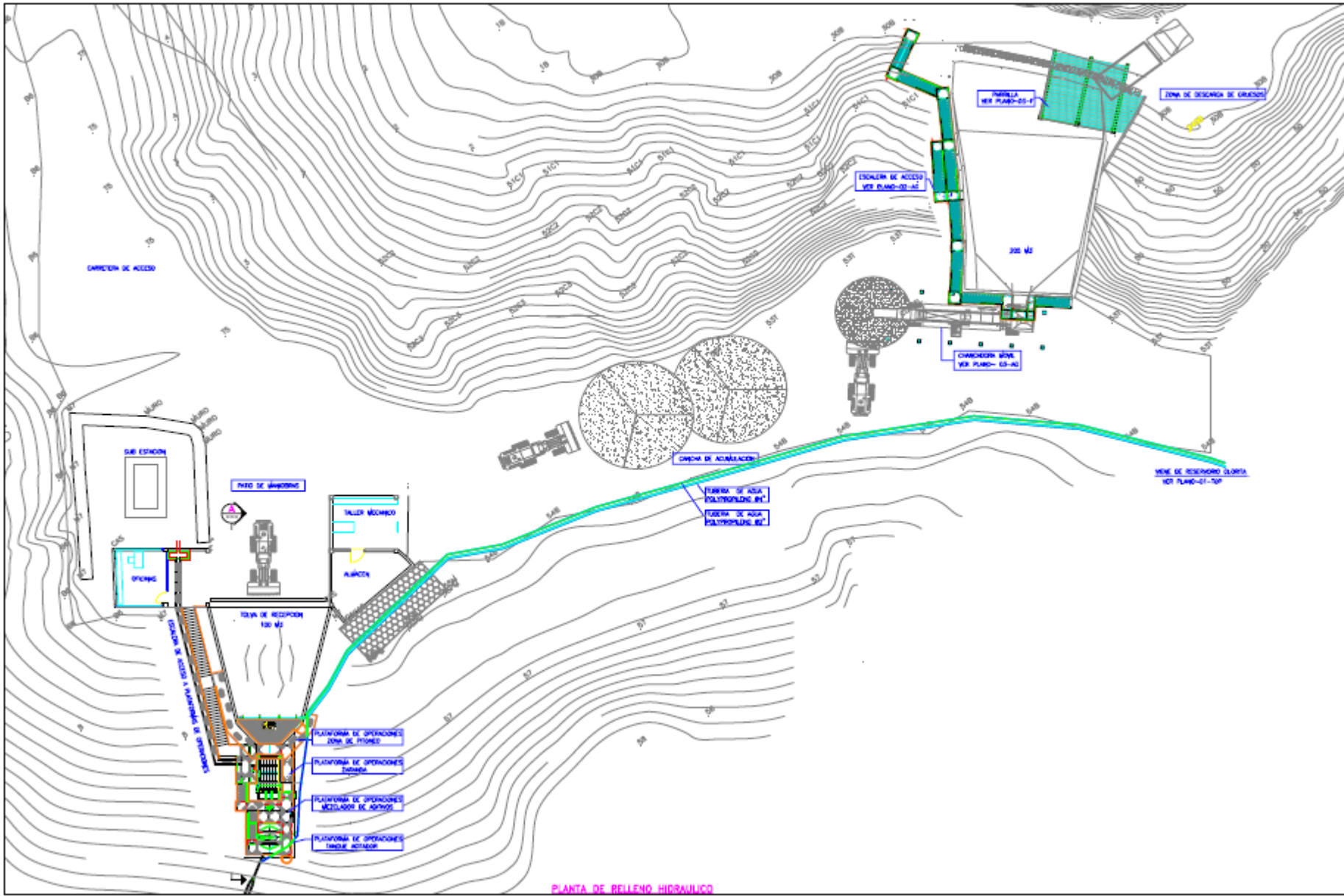
PERFIL DE CANTERA

ANTE PROYECTO RELLENO HORMALICO

Fecha	Elaborado	P. & I.	Revisado	Escala	Hoja
12-09-11	MUC		Arce	1/2000	01

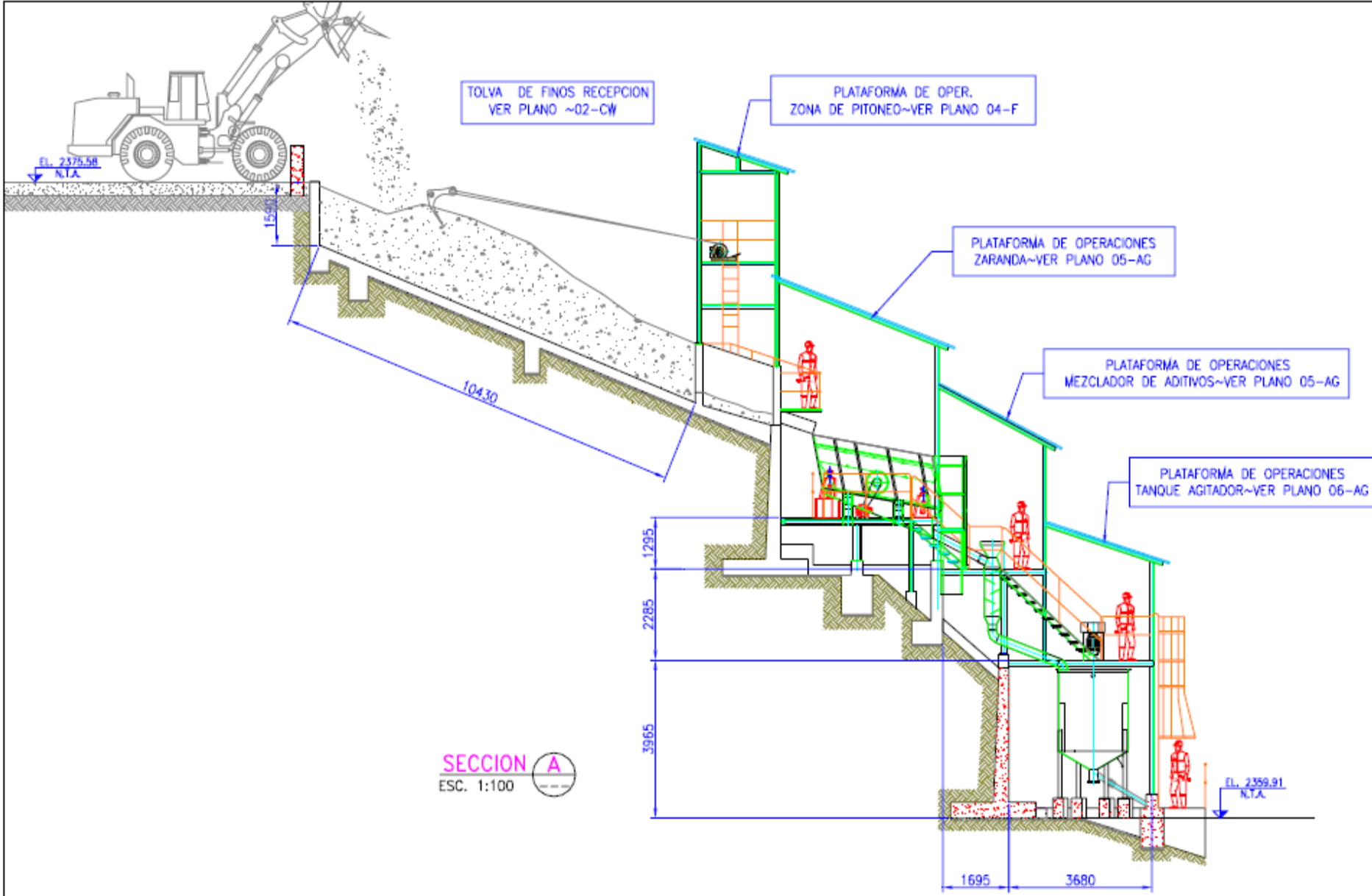
Plan: 01

APÉNDICE VI: Planta de Relleno Hidráulico.

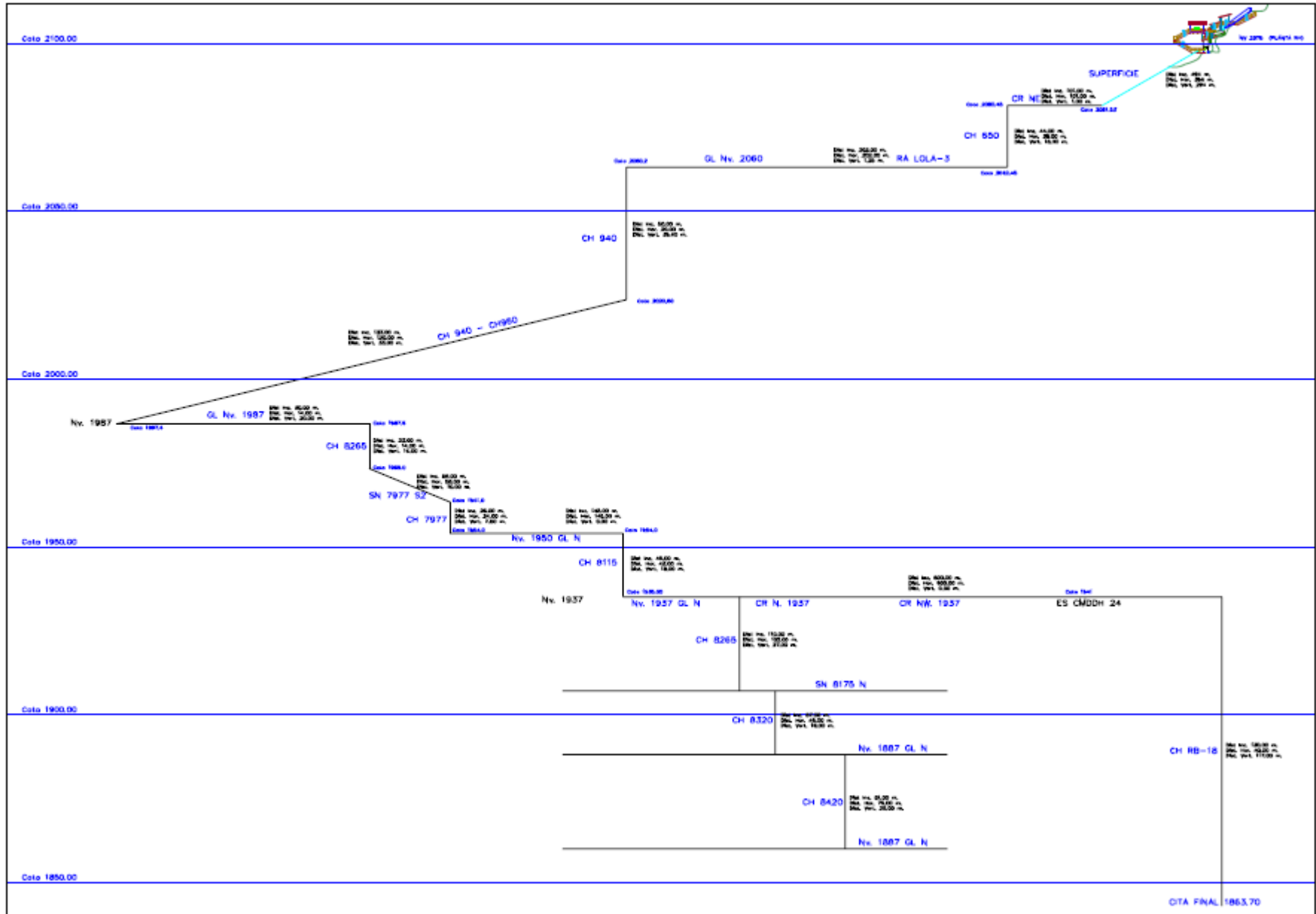


PLANTA DE RELLENO HIDRAULICO

APÉNDICE VII: Perfil de Planta de Relleno Hidráulico.



APÉNDICE VIII: Plano de Red de Tuberías de Relleno Hidráulico.





Fotografía N° 13: Planta Concentradora Paragsha que incrementara su capacidad de 8500 TMPD a 9500 TMPD.



Fotografía N° 10: Tuberías de 14" de diámetro, que conducen los lodos provenientes de la planta de beneficio a la presa de relaves de Ocroyoc, actúan alternativamente la una como contingente de la otra, ambas con un canal de concreto de contingencia de ambas.



Fotografía N° 19: La eliminación de agua en el concentrado de Zinc se realiza en los espesadores, con la ampliación de la planta concentradora solo se repotenciara los espesadores para darle mayor eficiencia.



02/01/2002

PLAN SCAPE

- **Para el mejoramiento se desarrollaron diferentes cambios en los procesos del relleno hidráulico entre ellos el perfil hidráulico de las tuberías, automatización y ampliación de la planta.**
- **El 22 de septiembre del año 2001 se concreto la obra correspondiente a la ejecución del proyecto de Automatización de la planta de relleno hidráulico.**
- **Paquete en el cual se diseño el Sistema Computarizado y automático de la planta de relleno. A continuación detallamos el funcionamiento de los principales procesos del R.H.**

- **INTRODUCCION:**

- Para el acceso rápido y ordenado a cualquier punto de la planta vinculado con la automatización, se crearon una pantalla general de inicio y dos grupos de pantallas en el servidor: Las pantallas de cemento, y las de relave, correspondiendo las siguientes designaciones para cada una:

- **pantalla general**
- **pantalla de cemento**
- **pantalla de Ref. a la faja de alimentación de Cemento.**
- **Pantalla de Silos N° 1 y 2 de cemento**
- **Pantalla de relave**
- **Pantalla de medición de flujo y densidad de relave**
- **Pantalla Ref. a la zona de bombas de relave**
- **Pantalla de Ref. a la zona de bombas de relave (estadísticas)**
- **Pantallas de ciclones de relave**
- **Pantalla de tendencias históricas**
- **Pantalla estadística del sistema**

- OBJETIVOS:
- Optimizar el uso del cemento en las mezclas del relleno enviado a la mina.
- Mejorar la calidad de relleno hidráulico (relación cemento: relave), el cual implica una disminución en los incidentes y accidentes.
- Presión en el sistema de control de consumo de cemento
- Envío del relleno con condiciones hidráulicas optimas
- Renovación total del sistema de control (tablero electrónico)

- **MANEJO DE PANTALLAS**

- **Pantalla General:**

- Esta pantalla ha sido configurada para ser presentada por defecto en el servidor al iniciar funcionamiento la estación, dando la opción de ingresar a las pantallas de cemento o las de relave con solo seleccionar con Mouse las teclas de función cemento o relave.

- **Pantalla de Cemento**

- Este despliegue brinda la opción re acceder alas pantallas que corresponden a los ciclos 1y 2, faja alimentación y retornara ala pantalla general.



Honeywell

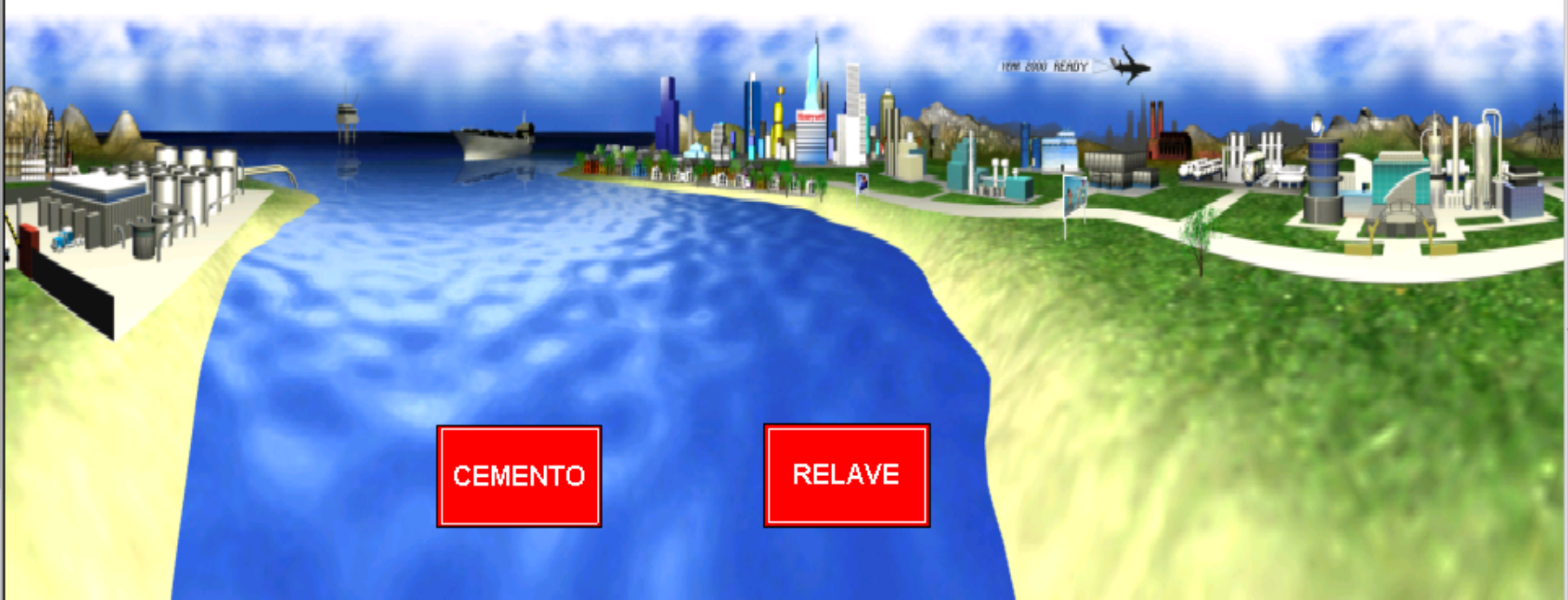


VOLCAN-PARAGSHA

PlantScape
Release 300

CE-YE-SA

PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDER



CEMENTO

RELAVE



PANTALLA DE CEMENTO



CE-YE-SA
PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDER

SILOS 1 Y 2

FAJA ALIMENTACION

PANTALLA GENERAL



FAJA DE ALIMENTACION DE CEMENTO

FLUJO MASICO CEMENTO TON/ Hr. : 9999.99
CONSUMO CEMENTO TON. : 9999.99
RATIO CEMENTO/RELAVE (ACTUAL) : 9999.99
SP = RATIO CEMENTO / RELAVE : 9999.99
ERROR : 9999.99

MODO OPERACION PID :

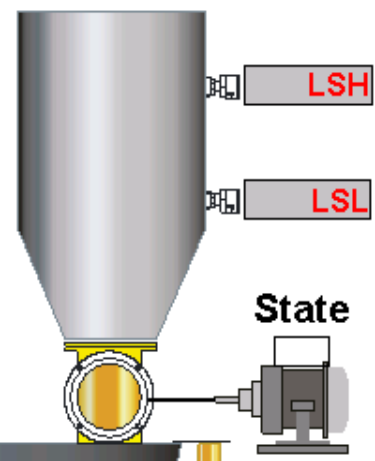
% VELOCIDAD MAX. ALIM. CEMENTO : 9999.99

ESTADISTICAS DEL SISTEMA **VER TENDENCIAS**

RESET TOTALIZADOR (CICLO)



CEMENTO PROVENIENTE DE SILOS



ALIMENTACION CEMENTO
AGITADORES #1 Y 2



MODO OPERACION MOTOR FAJA
MANUAL AUTOMATICO LOCAL REMOTO

REFERENCIA DE VELOCIDAD :
POTENCIOMETRO 4-20 mA

MODO OPERAC. ALIMENTADOR CEMENTO
MANUAL AUTOMATICO LOCAL REMOTO

REFERENCIA DE VELOCIDAD :
POTENCIOMETRO 4-20 mA

PANTALLA CEMENTO

PANTALLA GENERAL

PANTALLA RELAVE

CE-YE-SA
PLANSCAPE SOLUTION PROVIDE

SILOS #1 Y 2 DE CEMENTO

Honeywe

CEMENTO PROVENIENTE ESTACION DESCARGA

CEMENTO PROVENIENTE ESTACION DESCARGA

DOLGAN-PARAGSHA

SILO#1

AUTOMATICO

COMPUERTA

SOLENOIDE

SILO#2

AUTOMATICO

COMPUERTA

SOLENOIDE

AIRE

AIRE

ADELANTO APERTURA SOLENOIDE : 9999.98

9999.98

RETARDO CIERRE SOLENOIDE : 9999.98

ADELANTO APERTURA SOLENOIDE : 9999.98

9999.98

RETARDO CIERRE SOLENOIDE : 9999.98

LSH

LSL

ALIMENTACION TOLVIN CEMENTO

PANTALLA CEMENTO

PANTALLA GENERAL

PANTALLA RELAVE

CE-YE-SA

PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDI

PANTALLA DE RELAVE



ZONA BOMBAS

CICLONES

FLUJO /DENSIDAD

PANTALLA GENERAL

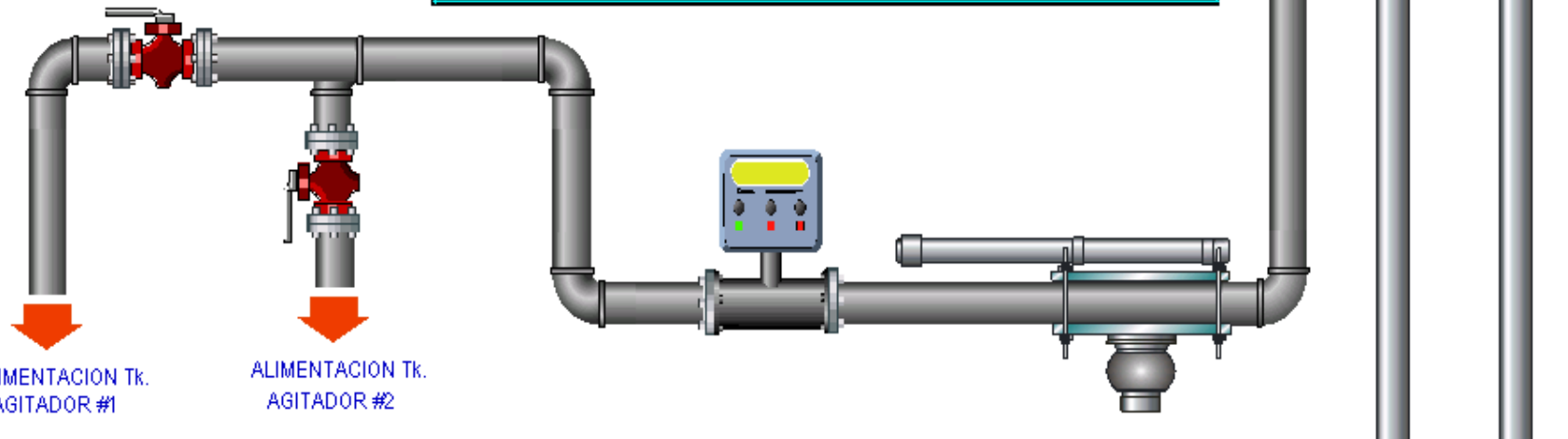


MEDICION FLUJO DENSIDAD RELAVE

RELAVE PROVENIENTE UNDER-FLOW CICLONES



FLUJO VOLUMETRICO	DENSIDAD	FLUJO MASICO
m3 / Hr : 9999.99	gr / cm3 : 9999.99	TON / Hr. 9999.99
SP = RATIOCIMENTO (RELAVE) : 9999.99		VER TENDENCIAS
ESTADISTICAS DEL SISTEMA		



ALIMENTACION Tk.
AGITADOR #1

ALIMENTACION Tk.
AGITADOR #2

PANTALLA RELAVE

PANTALLA GENERAL

PANTALLA CEMENTO

CE-YE-SA
PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDER

ZONA DE BOMBAS DE RELAVE

Honeywell

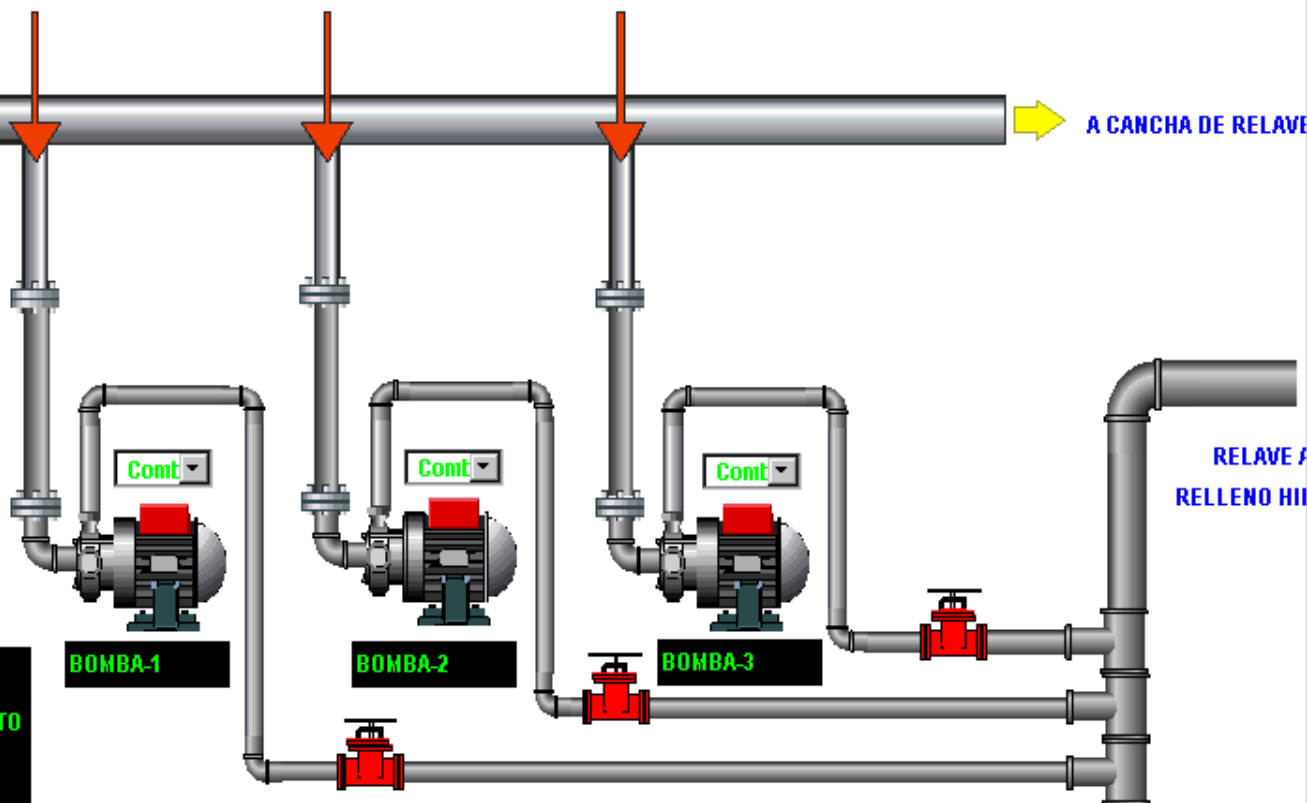


VOLCAN-PARAGSHA



RELAVE DE
PTA. CONCENTRADORA

A CANCHA DE RELAVE



MODO DE OPERACION

MANUAL AUTOMATICO LOCAL REMOTO

MBA-1

MBA-2

MBA-3

ESTADISTICAS

PANTALLA RELAVE

PANTALLA GENERAL

PANTALLA CEMENTO

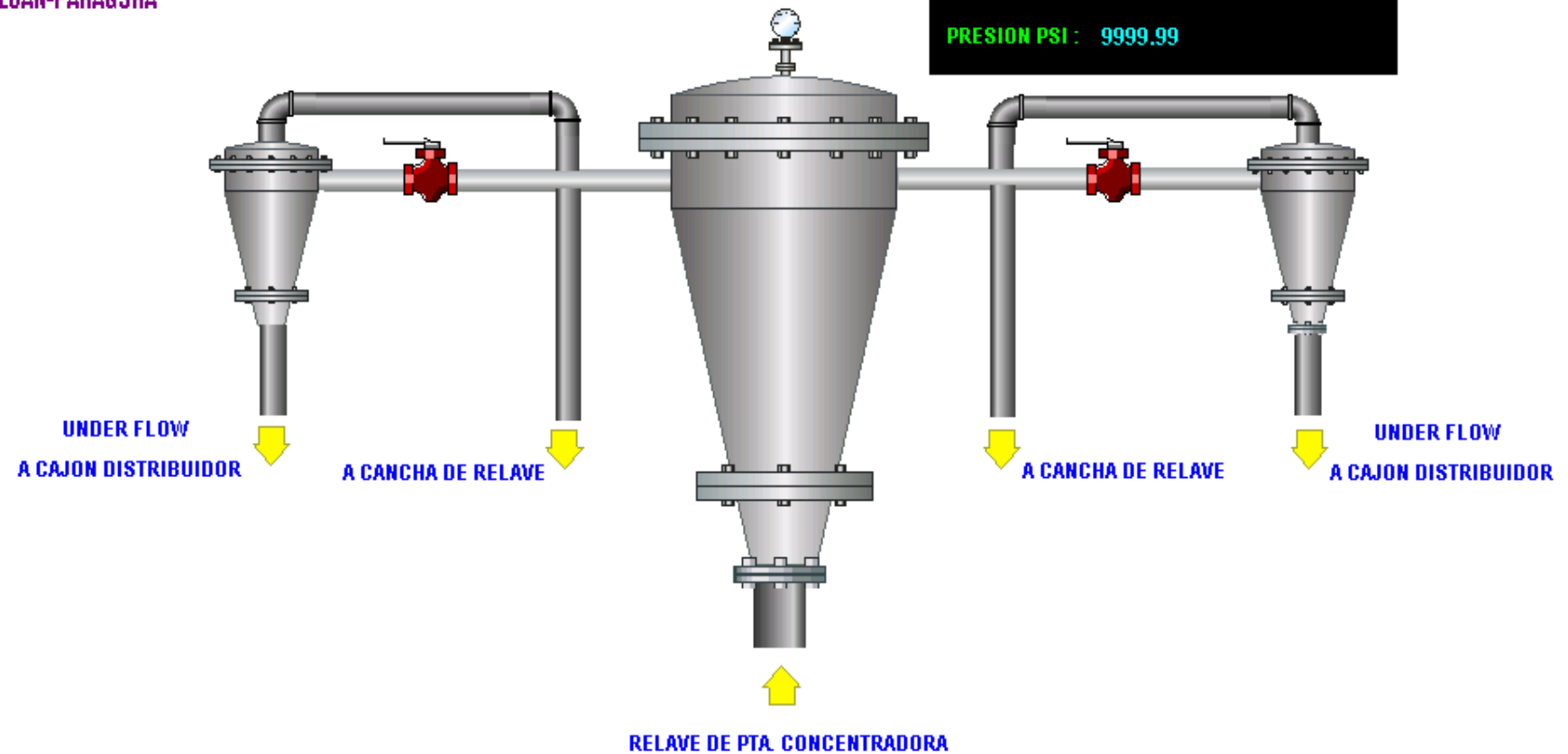
CE-YE-SA
PLANTSCAPE SOLUTION PRO

CICLONES DE RELAVE

Honeywell



PRESION CAJON DE DISTRIBUCION A CICLONES
PRESION PSI : 9999.99



PANTALLA RELAVE

PANTALLA GENERAL

PANTALLA CEMENTO

CE-YE-SA
PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDE

ESTADISTICAS DEL SISTEMA

CEMENTO

FLUJO MASICO CEMENTO..... TON/ Hr..... : 9999.99
 CONSUMO CEMENTO TOTALIZADO CICLO TON..... : 9999.99
 CONSUMO CEMENTO TOTALIZADO TON..... : 9999.99

RELAVE

FLUJO MASICO DE RELAVE..... TON/ Hr : 9999.99
 FLUJO VOLUMETRICO RELAVE..... m3/ Hr : 9999.99
 FLUJO MASICO DE RELAVE TOTALIZADO..... TON : 9999.99
 FLUJO VOLUMETRICO RELAVE TOTALIZADO.. m3 : 9999.99
 FLUJO VOLUM. TOTAL RELAVE EFECTIVO (SECO) m3 : 9999.99
 PROM. FLUJO RELAVE EFECTIVO POR HORA m3/ Hr : 9999.99
 DENSIDAD DE RELAVE gr/cm3 : 9999.99
 DENSIDAD DE RELAVE PROMEDIO CICLO gr/cm3 : 9999.99

PULPA (RELAVE+CEMENTO)

FLUJO MASICO RELLENO TOTALIZADO TON : 9999.99
 FLUJO VOLUMETRICO RELLENO TOTALIZADO m3 : 9999.99
 PRODUCCION RELLENO EFECTIVO TOTALIZ. (R/H seco) m3 : 9999.99
 RENDIMIENTO RELLENO EFECTIVO TOTALIZADO m3/Hr..... : 9999.99
 RENDIMIENTO RELLENO EFECTIVO TOTALIZADO TON/Hr..... : 9999.99
 TIEMPO TOTALIZADO DE CICLO RELLENO : 9999.99 9999.99 9999.99

RESET TOTALES CICLO :
 RESET CONSUMO CEMENTO TOTALIZADO :

RATIO CEMENTO/RELAVE (ACTUAL) : 9999.99
 SP = RATIO CEMENTO / RELAVE : 9999.99
 ERROR : 9999.99
 MODO OPERACION PID..... :
 % VELOCIDAD MAX. ALIM. CEMENTO... : 9999.99
 FACTOR CORRECCION % SOLIDOS : 0.7

RATIOS REFERENCIA

1/6 : 0.166
 1/30 : 0.033
 1/25 : 0.040
 1/20 : 0.050
 1/15 : 0.066

PANTALLA CEMENTO

PANTALLA GENERAL

PANTALLA RELAVE



VOLCAN-PARAGSHA
Honeywell
CE-YE-SA
 PLANTSCAPE SOLUTION PROVIDER



LA INGENIERIA ES UN PROCESO QUE SUSTENTA SU AVANCE EN FUNCION A LA TEORIA DE PRUEBA Y ERROR, QUIEN NO LA PRACTICA NO ES INGENIERO

Rojas Linares Edito Luis

GRACIAS POR SU ATENCION

