



**INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO,
REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES**

**Encuentro Técnico en Manejo de Relaves
Espesados y Optimización de
Recuperación de Agua**

ASMIN Industrial Ltda.

Marco A. Becerra M.

marco.becerra@asmin.cl



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

AGENDA

- 1. Antecedentes Generales.**
- 2. Variables de Proceso.**
- 3. Pruebas de Laboratorio de Floculación, Sedimentación y Reología.**
- 4. Equipamiento y Diagrama de Flujo de Pruebas Piloto.**
- 5. Descripción de Pruebas Piloto de Espesamiento.**
- 6. Descripción de Pruebas Piloto de Transporte.**
- 7. Descripción de Pruebas Piloto de Depositación.**
- 8. Descripción de Pruebas de Shear Thinning.**
- 9. Experiencia en Pruebas Pilotos Realizadas a la Fecha.**
- 10. Experiencias Aprendidas y Recomendaciones.**
- 11. Descripción de Planta Piloto Para Producir Relaves Frescos.**



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

1.- ANTECEDENTES GENERALES.



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

INTRODUCCION

Los costos de agua de proceso puesta en planta, se han incrementado desde 0,2 hasta 3,5 US\$/m³ dependiendo de la fuente, agua de pozo, de mar y/o desalinizada. Este incremento ha impulsado fuertemente los estudios de recuperación de agua desde los relaves.

Para el desarrollo de estos estudios, se requiere de la participación de especialistas multidisciplinarios de las áreas de metalurgia, espesamiento, bombeo, transporte y depositación y de una empresa para coordinar todos estos servicios y actividades.



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

Entre las actividades y servicios que se deben contemplar para el desarrollo de pruebas piloto de espesamiento, reología, transporte y depositación de relaves se destacan:

- Contratación y coordinación con consultores y proveedores.**
- Construcción y montaje eléctrico-mecánico de todos los equipos y accesorios de la planta piloto.**
- Recepción, caracterización y repulpeo de las muestras de relaves para las pruebas piloto.**
- Coordinación y ejecución de todas las pruebas piloto.**
- Control operacional y metalúrgico antes, durante y después de cada prueba piloto.**

A continuación se muestra la experiencia de *ASMIN* en este tipo de pruebas piloto.



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

ASMIN a la fecha ha participado en pruebas piloto para (12) proyectos de relaves en pasta, ya sea como consultor, contraparte, operador ó control metalúrgico:

- 1. *Minera Escondida* (2005), auditoria a pruebas espesamiento, desaguado, cicloneo, depositación, filtración al vacío y presión.**
- 2. *Minera Collahuasi* (2006), pruebas de espesamiento y depositación.**
- 3. *Minera Esperanza* (2007), auditoria a pruebas de espesamiento, transporte y depositación.**
- 4. *BHP-MEL* (2007-2008), pruebas de espesamiento, transporte y depositación.**
- 5. *Proyecto Caserones* (2009), pruebas de espesamiento, transporte y depositación de lamas y arenas.**
- 6. *Minera Collahuasi* (2010), pruebas de espesamiento y depositación.**
- 7. *Minera Collahuasi* (2010), control metalúrgico espesador de pasta DEMO.**
- 8. *CMP Cerro Negro Norte* (2010), pruebas espesamiento, transporte y depositación.**
- 9. *Mantos Blancos* (2011), pruebas espesamiento, transporte y depositación.**
- 10. *Codelco Norte Talabre*, (2011), control metalúrgico de espesamiento, transporte y depositación.**
- 11. *Codelco R. Tomic* (2011), pruebas de espesamiento, transporte y depositación.**
- 12. *El Abra* (2012), pruebas de espesamiento, transporte y depositación.**



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

2.- VARIABLES DE PROCESO.

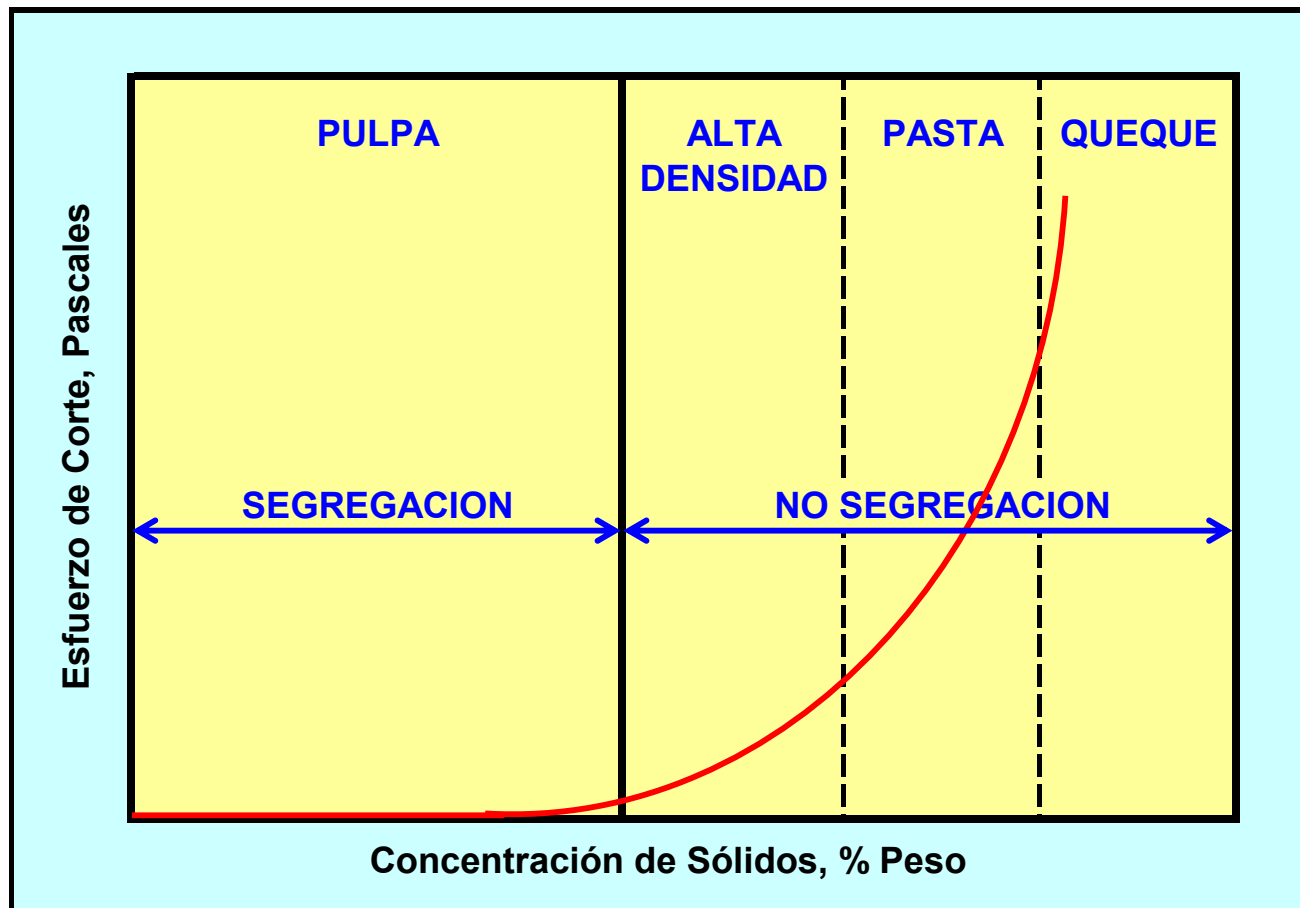


INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

VARIABLES DE PROCESO

- Tipo de Agua
- pH de la pulpa.
- Dilución de la pulpa.
- Temperatura de la pulpa.
- Gravedad específica del sólido.
- Granulometría del mineral o material.
- Viscosidad y/o esfuerzo de corte de la pulpa.
- Selección, dosis, tipo y adición de floculantes.
- Porcentaje de sólido en la alimentación y descarga.
- **Representatividad de la muestra, en términos mineralógicos, leyes, tipo y cantidad de arcilla presente.**

CLASIFICACION REOLOGICA DE RELAVES



**3.- PRUEBAS DE LABORATORIO DE
FLOCULACION, SEDIMENTACION Y REOLOGIA.**



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

PRUEBAS DE LABORATORIO

- Homogenización y caracterización de la muestra, en términos de: gravedad específica, granulometría, % sólidos, mineralogía metálica y de arcillas, pH, temperatura, etc.
- Selección de dosis, tipo y adición de floculante.
- Viscosidad y/o esfuerzo de corte de la pulpa.
- Pruebas de sedimentación para máxima compresibilidad.
- Determinación de curva reológica del relave con y sin floculante.

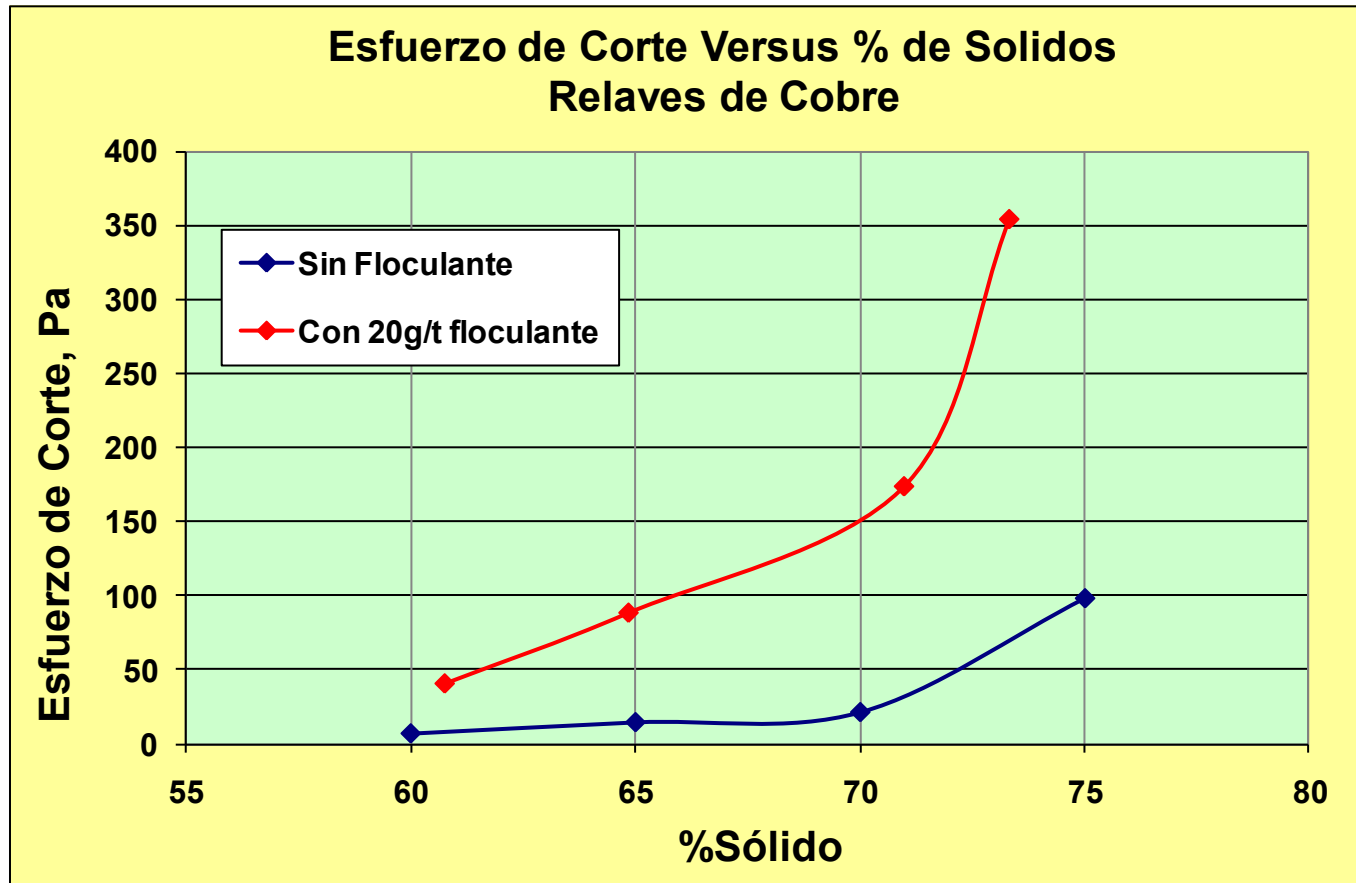


INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

EQUIPAMIENTO PARA PRUEBAS LABORATORIO



CURVA REOLOGICA DE RELAVES DE COBRE





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

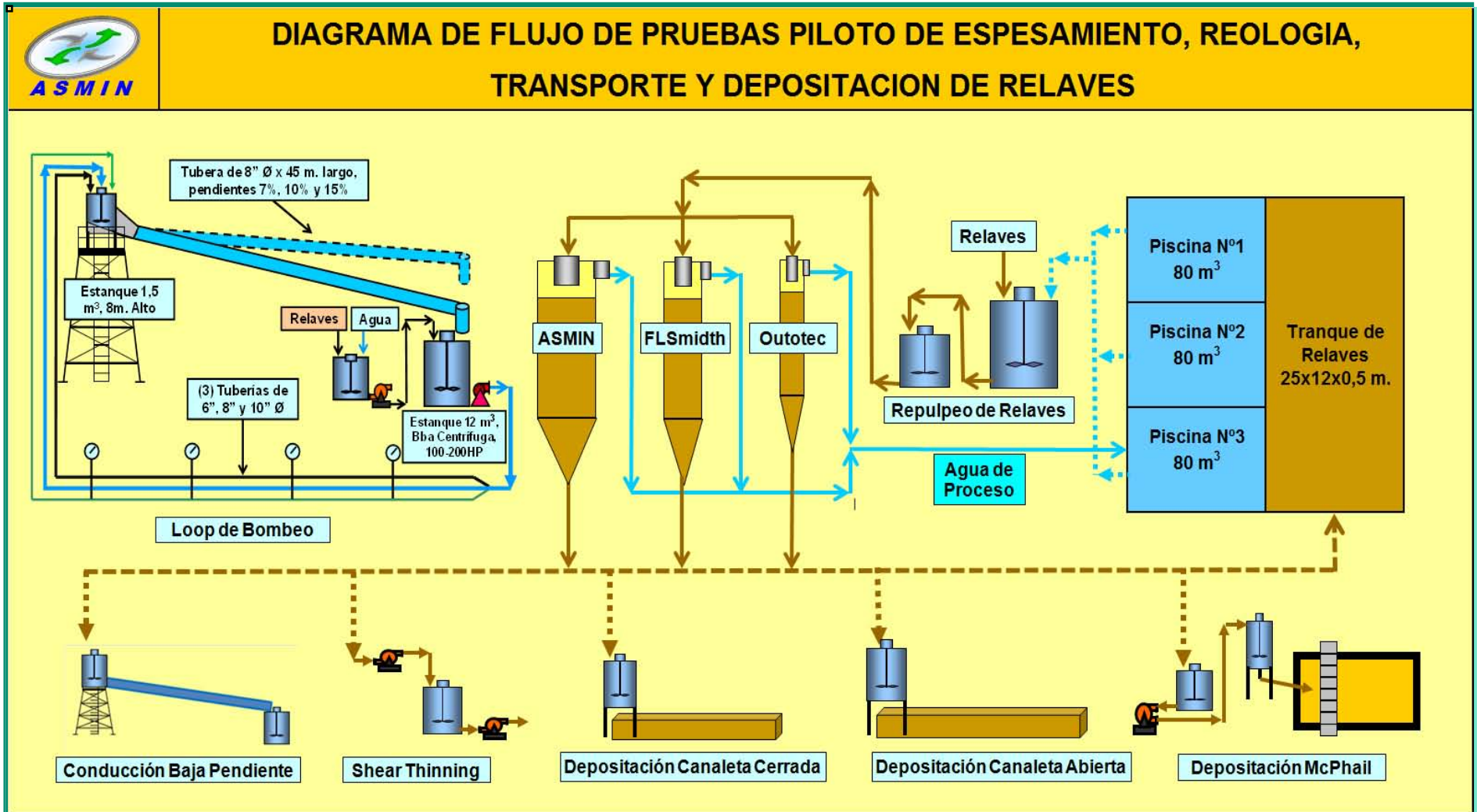
4.- EQUIPAMIENTO Y DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS PRUEBAS PILOTO.



EQUIPAMIENTO Y DIAGRAMA DE PRUEBAS PILOTO

Para el desarrollo de las pruebas piloto, se debe disponer un buen equipamiento, amplias instalaciones y laboratorio para el control metalúrgico.

- **Espesadores piloto de pasta y alta capacidad.**
- **Cancha y canaletas de depositación.**
- **Loop de bombeo lo mas grande posible, distintos diámetro de tubería de impulsión, tubería de retorno con pendiente variable, bombas con VDF y estaciones control de presión.**
- **Piscinas de almacenamiento de agua.**
- **Deposito de almacenamiento de relaves.**
- **Bombas peristáltica de 10, 15, 20, 25, 40, 50, 65 y 80 mm de diámetro.**
- **Bombas sumergibles de 5, 10 y 15 Kw,**
- **Estanques de agitación de relaves de 0.5, 1, 3, 5 y 15 m³.**
- **Flujómetros, sonar, Doppler y manómetros.**

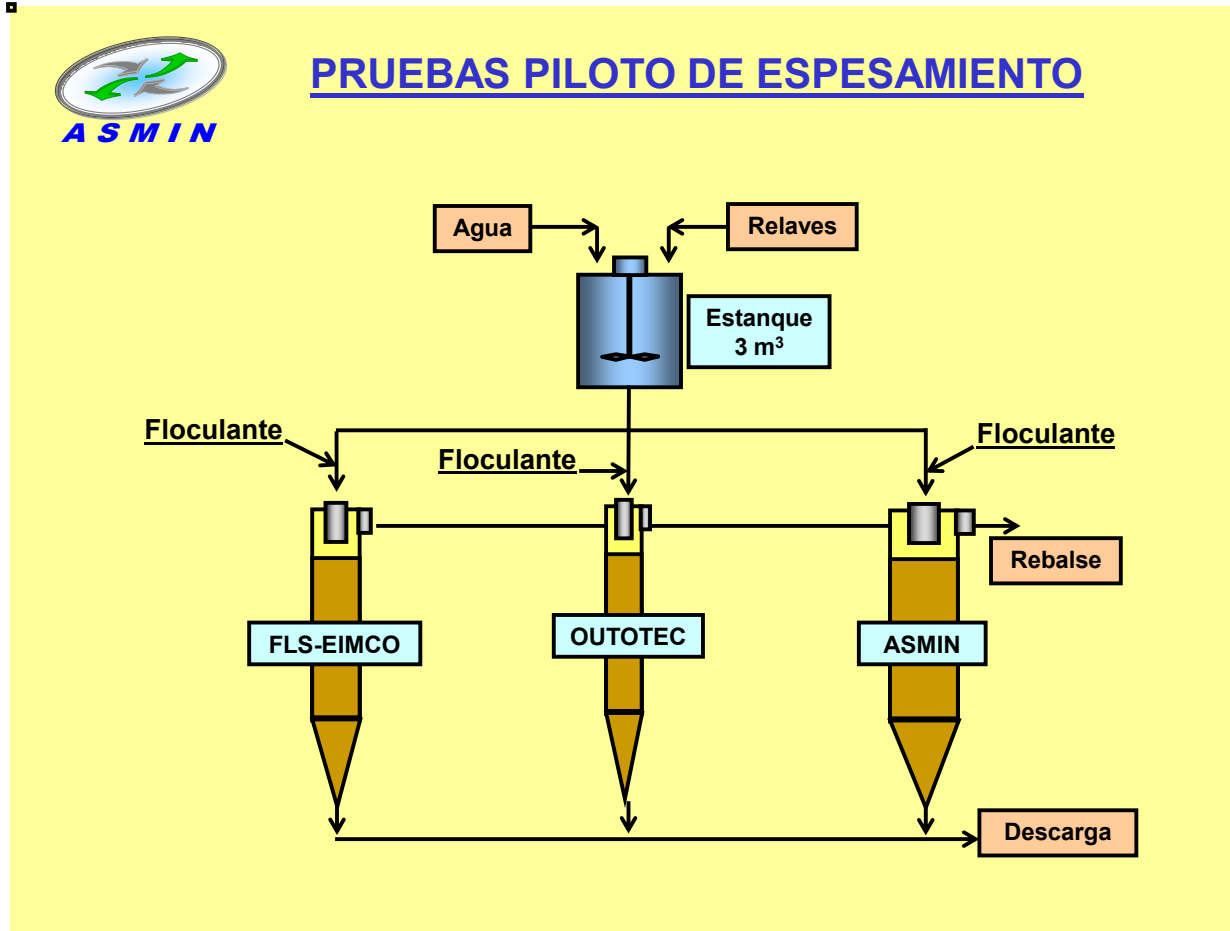


5.- DESCRIPCION DE PRUEBAS PILOTO DE ESPESAMIENTO.

PRUEBAS PILOTO DE ESPESAMIENTO

El objetivo de las pruebas piloto de espesamiento, es obtener los parámetros y condiciones de proceso que serán utilizados en la selección y dimensionamiento de los espesadores requeridos. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- Epesador piloto Outotec, de 0,2 m diámetro x 4 m alto.
- Epesador piloto FLSmidth, de 0,5 m diámetro x 4 m alto.
- Epesador piloto **ASMIN**, de 0,9 diámetro x 6 m alto.
- Estanques con agitador de 1 m³ para el repulpeo al 30% sólido.
- Bombas neumáticas-peristálticas para la descarga.
- Estanque con agitador de 3 m³ para acumular y alimentar relaves al 30% de sólidos al espesador piloto.





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES



6.- DESCRIPCION DE PRUEBAS PILOTO DE TRANSPORTE.

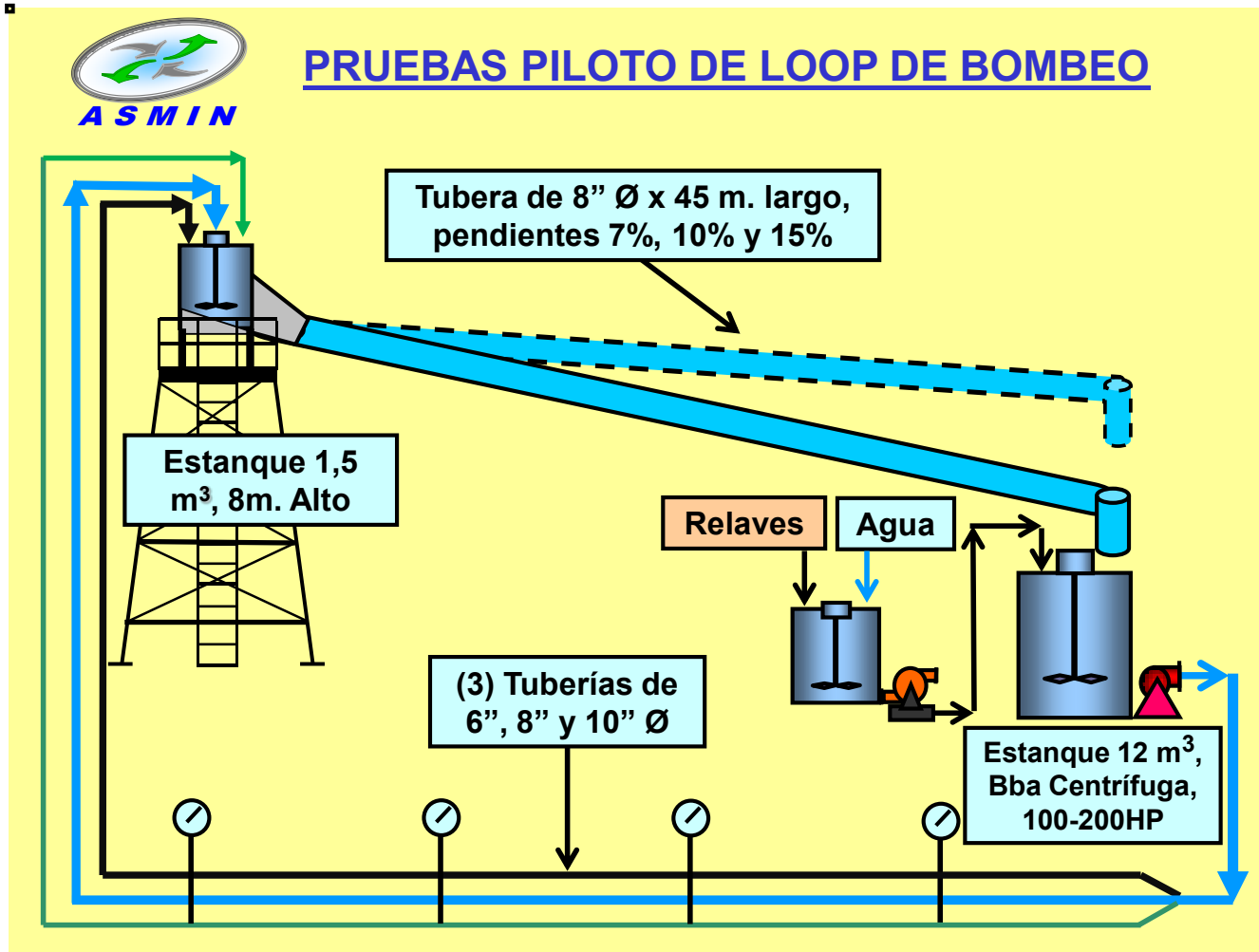


INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

PRUEBAS DE LOOP DE BOMBEO

El objetivo de las pruebas de transporte en “Loop de Bombeo” es estimar las pérdidas de carga a distintas % de sólidos, flujos y diámetros de tuberías con bomba centrífuga. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- (1) Estanque de acumulación de 12 m³, con agitador de 60 HP.
- (1) Bombas peristálticas de 65 y 80 mm. diámetro.
- (3) Tuberías de impulsión (HDP) de 50 m de largo, 6”, 8” y 10” de diámetro.
- (4) Manómetros por cada línea de impulsión.
- (1) Tubería retorno (HDP) , 48m largo, 8” diám., pendiente variable (7% a 15%).
- (1) bomba centrífuga (12”x10”), 100 y 200 HP, y flujo variable para la recirculación del relave, desde el estanque de 12 m³ hasta el estanque elevado.
- Estructura de soporte para instalación del loop.





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

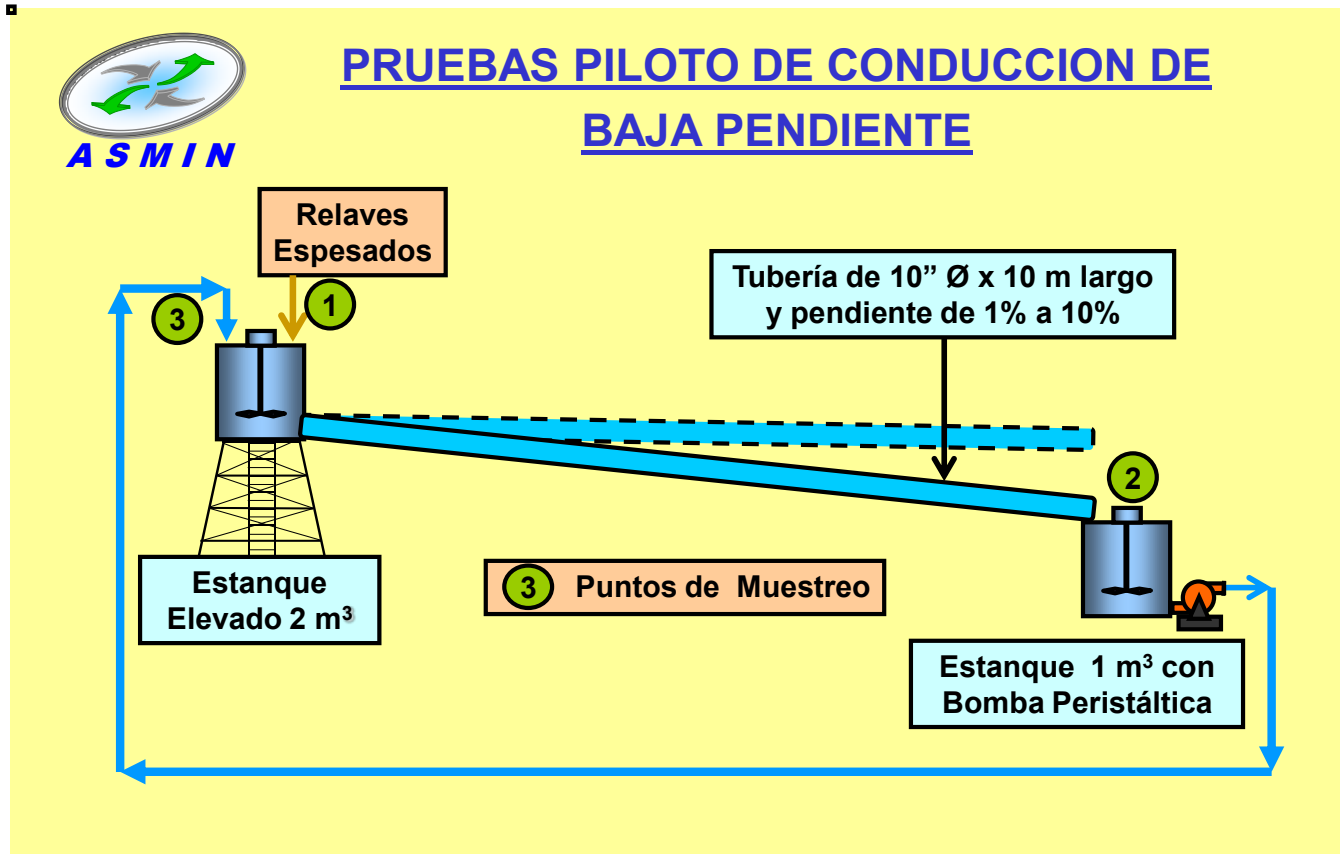




PRUEBAS DE CONDUCCION DE BAJA PENDIENTE

El objetivo de las pruebas de transporte en “Conducción de Baja Pendiente”, es estimar los flujos para distintas pendientes entre 0 y 12%. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- (1) estanque de almacenamiento con agitador y VDF de 3 m³.**
- (1) tubería de HDP de 10” de diámetro y 10 metros de largo.**
- (1) Estructura de pendiente variable de la tubería ,entre 0° a 10°.**
- (1) estanque de recirculación de 1 m³.**
- (1) bomba peristáltica de 80 mm de diámetro para la recirculación.**





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

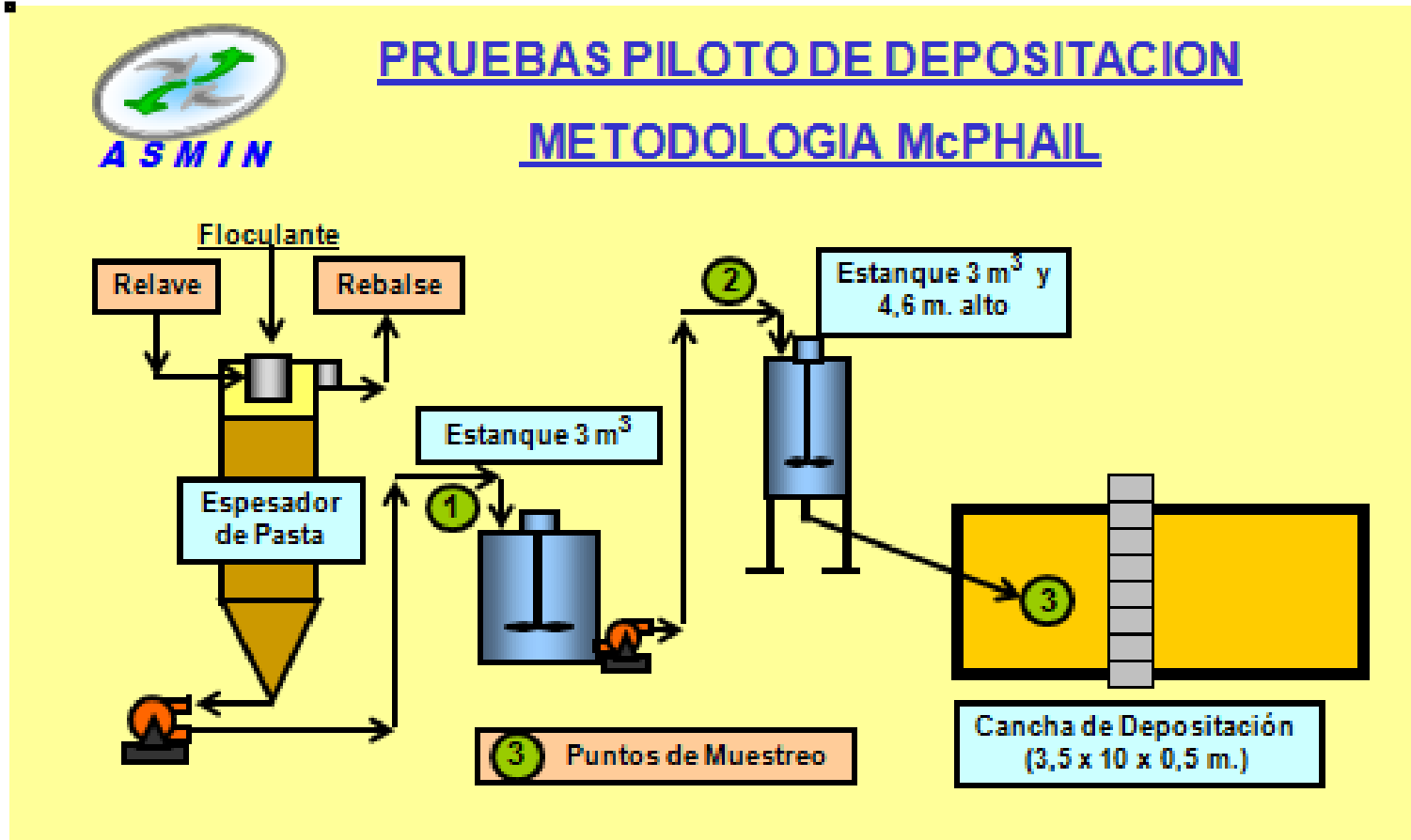


7.- DESCRIPCION DE PRUEBAS PILOTO DE DEPOSITACION.

PRUEBAS PILOTO DE DEPOSITACION, McPHAIL

El objetivo de las “Pruebas de Deposición en Cancha” tipo McPhail, es estimar la pendiente de deposición de los relaves a escala real, para distintas condiciones tales como: % de sólidos, esfuerzo de corte, altura de descarga, etc. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- (1) Estanque acumulador con agitador de 3 m³.
- (1) Bomba peristáltica de 50 y 65 mm. de diámetro.
- (1) Estanque elevado de 4,6 m. de alto con agitador y de 3 m³.
- Tubería de 2,5” y válvula tipo Pinch.
- Cancha de deposición de 3,5 x 10 x 0,5 metros.
- Puente de 6 m de largo para medición y filmación.
- Nivel y mira topográfica para las mediciones de pendiente.





INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES





PRUEBAS DE DEPOSITACION EN CANALETA ABIERTA

El objetivo y condiciones de las “Pruebas de Depositación en Canaletas”, es el mismo que para McPhail. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- (1) espesador piloto para producir los relaves espesados.
- (1) estanque de almacenamiento con agitador y VDF de 3 m³.
- (1) canaleta de madera abierta de 1 x 1 metros de ancho y alto y 12 metros de largo.
- Nivel y mira topográfica para las mediciones de pendiente.



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES





PRUEBAS DE DEPOSITACION EN CANALETA CERRADA

El objetivo y condiciones de las “Pruebas de Depositación en Canaleta Cerrada”, es medir la compresibilidad del relave depositado, además de medir la variación de humedad en el tiempo. El equipamiento requerido, diagrama y fotografías se muestra a continuación.

- (1) espesador piloto para producir los relaves espesados.**
- (1) estanque de almacenamiento con agitador y VDF de 3 m³.**
- (1) canaleta de madera cerrada de 1 x 1 metros de ancho y alto y 9 metros de largo.**



INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

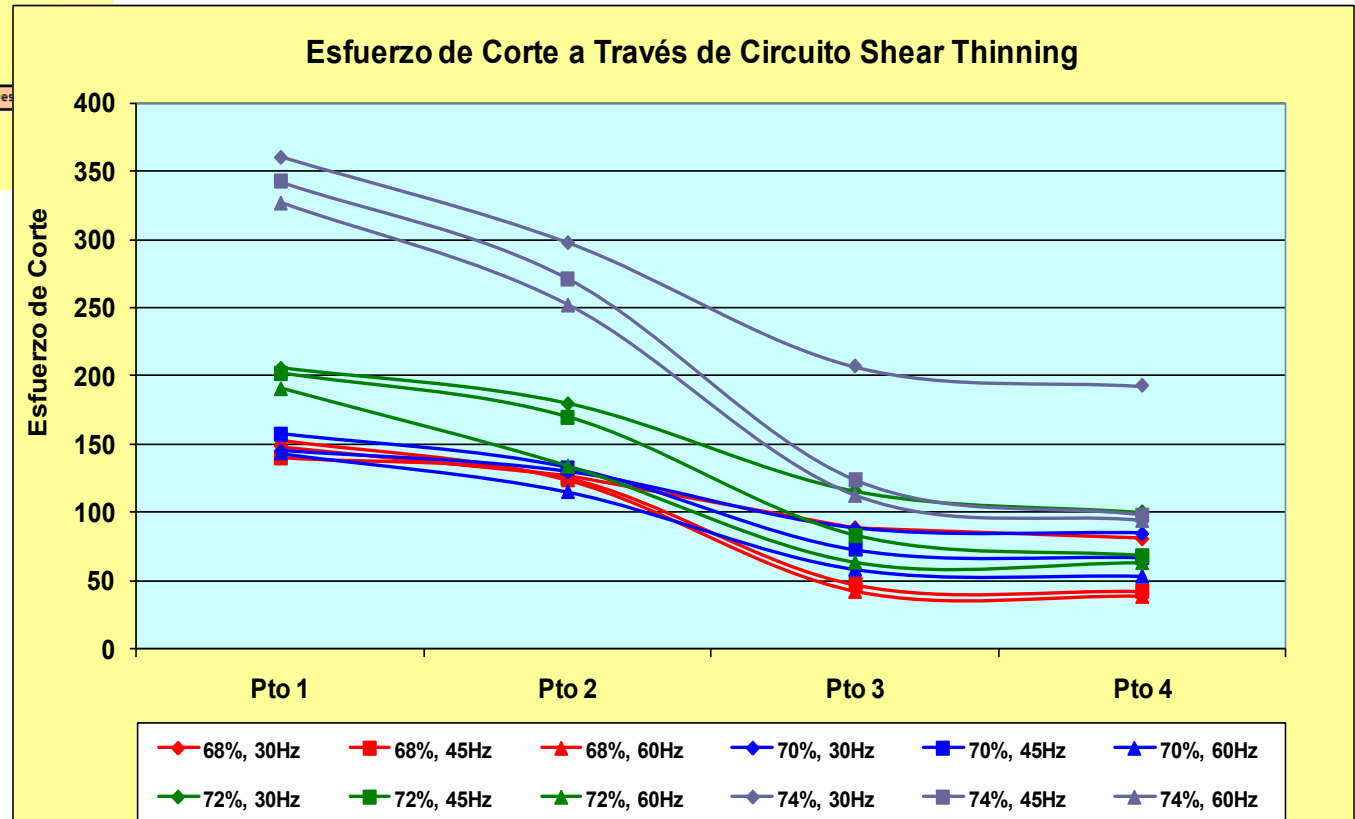
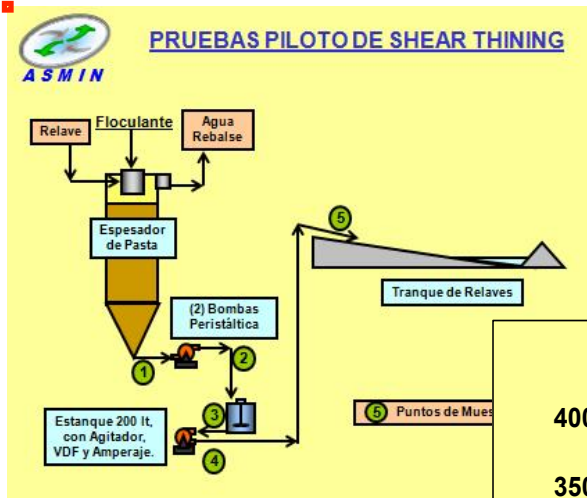


8.- DESCRIPCION DE PRUEBAS DE SHEAR THINNING.

PRUEBAS PILOTO DE SHEAR THINNING

El objetivo de las “Pruebas de Shear Thinning” es simular y estimar las variaciones de esfuerzo de corte en función del % de sólidos, desde la descarga del espesador piloto (un shear), pasando por bombas peristáltica, estanque con agitador de VDF, hasta su depositación final (fully shear). El equipamiento requerido, puntos de muestreos, diagrama y fotografías se muestran a continuación.

- 1.Descarga de espesador previo a la bomba peristáltica, se mide porcentaje de sólidos, esfuerzo de corte, gravedad específica y granulometría.
- 2.Descarga de bomba peristáltica (25 mm), se mide esfuerzo de corte.
- 3.Descarga de estanque agitador, previo a la segunda bomba peristáltica (25 mm), se mide esfuerzo de corte
- 4.Descarga de segunda bomba peristáltica (25 mm), se mide esfuerzo de corte
- 5.Descarga del relave final en el isocontenedor, se mide esfuerzo de corte.



**9.- EXPERIENCIAS EN PRUEBAS PILOTO
REALIZADAS A LA FECHA.**

**10.- EXPERIENCIAS APRENDIDAS Y
RECOMENDACIONES.**

EXPERIENCIAS APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

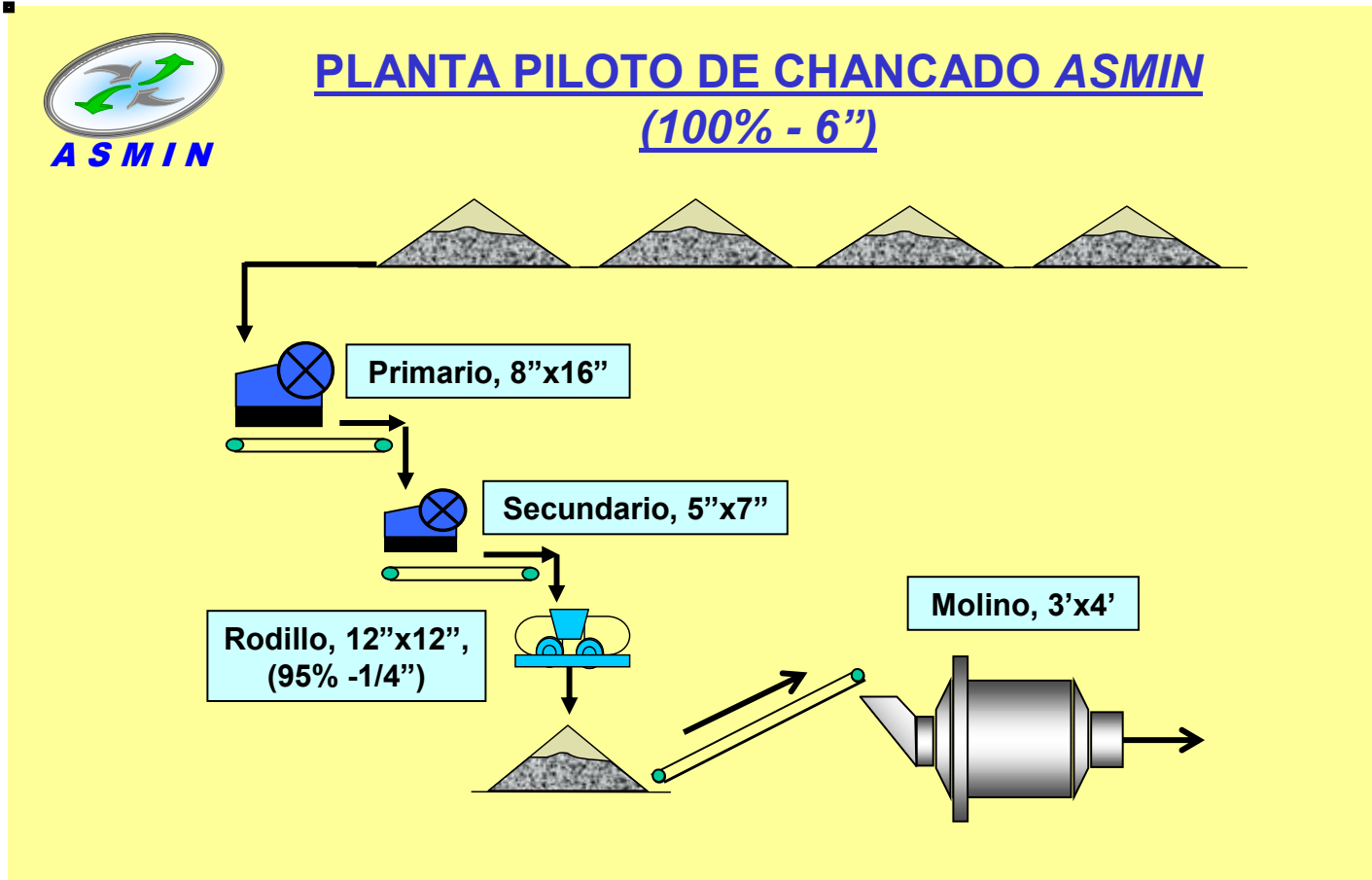
- 1. Es recomendable realizar estas pruebas fuera de las faenas mineras, tanto por la habilitación del personal como por los costos de operación.**
- 2. Para las pruebas piloto de sedimentación, transporte y depositación, se requieren del orden de 50 a 60 toneladas de relaves por muestra.**
- 3. Se recomienda caracterizar los relaves antes, durante y después de las prueba, en términos de granulometría, esfuerzo de corte, % de sólidos.**
- 4. Para las pruebas de sedimentación se debe operar en forma continua (día y noche) al menos de lunes a viernes.**
- 5. Terminadas las pruebas de sedimentación, los espesadores piloto se utilizan para producir relaves en pasta para las pruebas de depositación.**
- 6. Se recomienda realizar pruebas continuas de “Shear Thinning”, para determinar los valores de esfuerzo de corte antes y después del bombeo y/o agitación.**

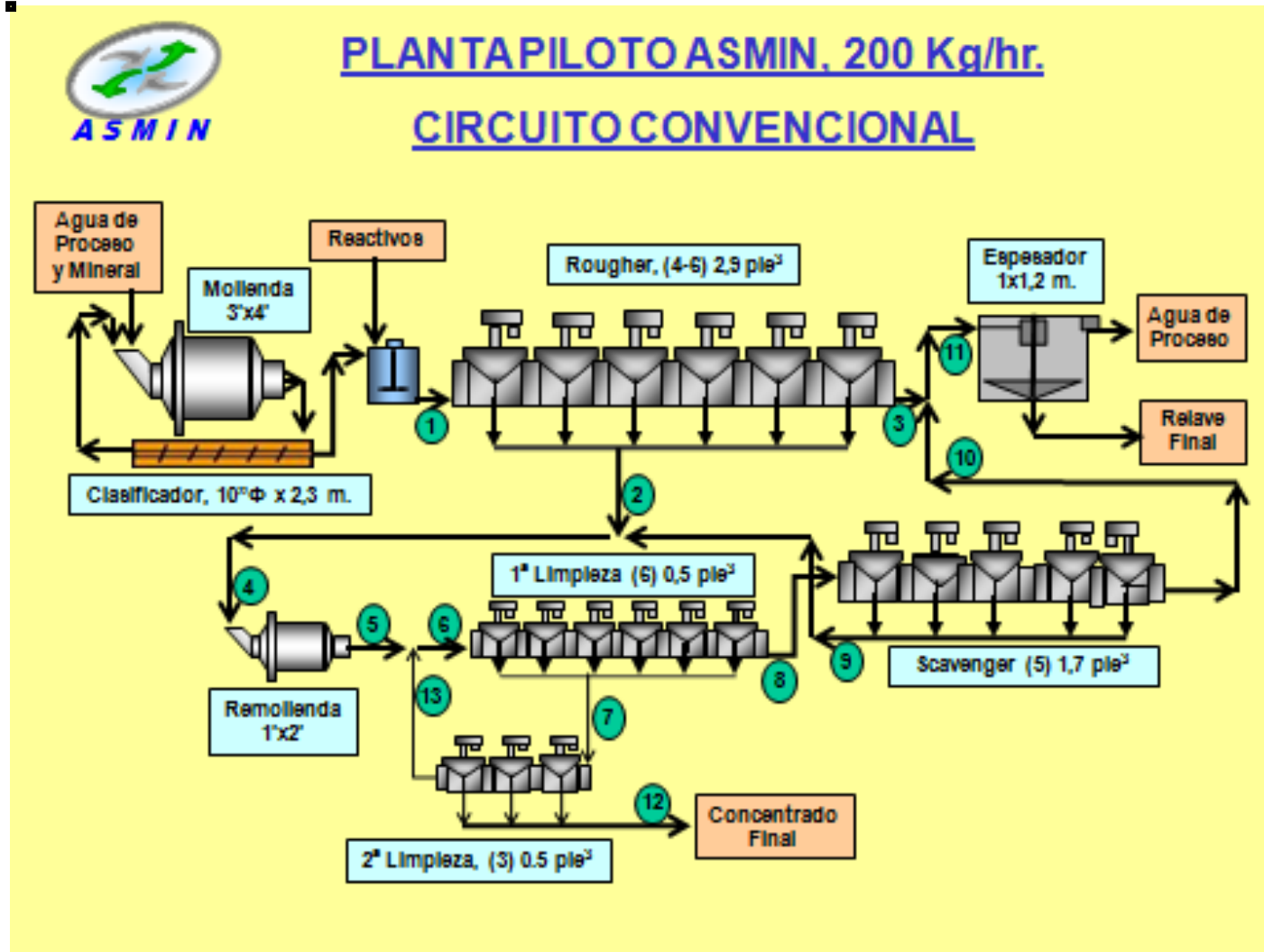


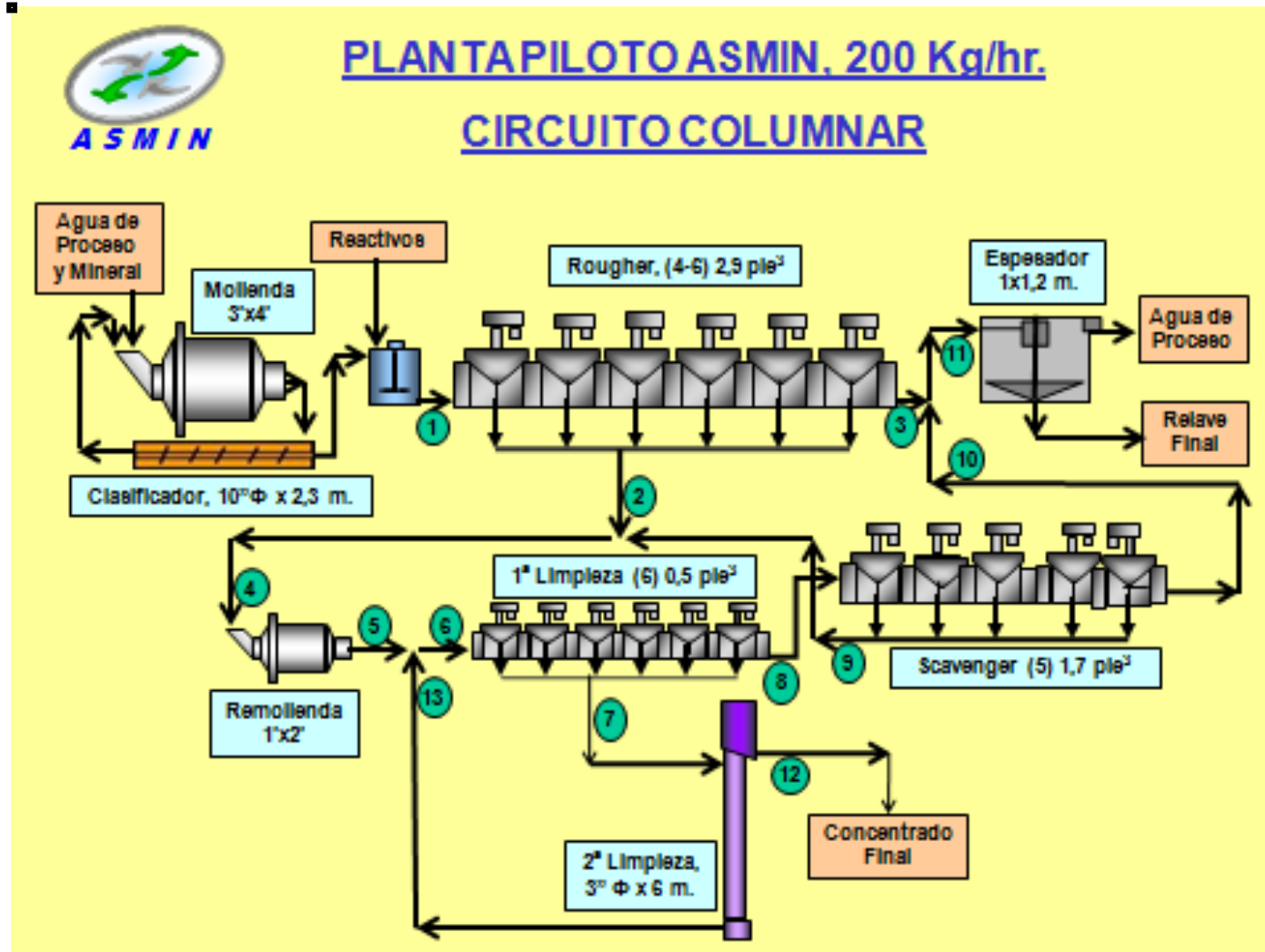
INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

- 7. Se recomienda disponer de estanques y agitadores con moto reductores de alta potencia, para absorber los altos valores de esfuerzo de corte de los relaves en pasta.**
- 8. Para las pruebas de transporte, se debe disponer de un “loop de bombeo” con tuberías del mayor diámetro y largo posible, bomba centrífuga (220 HP con VDF) para los distintos caudales y % de sólidos.**
- 9. Es recomendable la realización de un estudio mineralógico cuantitativo y cualitativo de arcillas contenidos en los relaves.**

11.- DESCRIPCION DE PLANTA PILOTO PARA PRODUCIR RELAVES FRESCOS.









INFRAESTRUCTURA PARA PRUEBAS DE ESPESAMIENTO, REOLOGIA, TRANSPORTE Y DEPOSITACION DE RELAVES

