



Universidad de Chile  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica



---

## Informe Final

# Descripción de una Estación Disipadora División Los Bronces, Anglo American

ME56B: Taller de Diseño Mecánico

---

Alumno : Francisco Espinoza Cárdenas.

Profesor : Alejandro Font F.

Fecha : miércoles 21 de julio de 2010

---

---

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes</b>	<b>2</b>
2.1. Descripción del Sitio . . . . .	2
2.2. Descripción de los procesos . . . . .	2
2.2.1. División Los Bronces (mina) . . . . .	4
2.2.2. División Las Tórtolas (planta procesado) . . . . .	6
<b>3. Layout</b>	<b>8</b>
3.1. Planta Colectiva . . . . .	8
3.1.1. Transporte desde el mineroducto . . . . .	8
3.1.2. Circuito Rougher . . . . .	8
3.1.3. Circuito Scavenger . . . . .	10
3.1.4. Tranques de relave . . . . .	10
3.1.5. Molinos de Remolienda . . . . .	10
3.1.6. Columnas de Limpieza . . . . .	10
3.2. Planta Selectiva . . . . .	10
3.2.1. Espesador Mixto (Cu y Mo) y Scavenger . . . . .	10
3.2.2. Circuito diferencial y columna de limpieza . . . . .	11
3.3. Etapa final . . . . .	11
3.3.1. Espesador de Cu . . . . .	11
3.3.2. Filtros hiperbáricos . . . . .	11
<b>4. Detalle de las unidades de la planta</b>	<b>12</b>
4.1. Estación Disipadora . . . . .	12
4.2. Espesador de Concentrado . . . . .	13
4.3. Molino de Bolas . . . . .	14
4.4. Batería de Hidrociclones . . . . .	14

---

4.5. Cámara Hiperbárica . . . . .	14
4.6. Piping . . . . .	14
<b>5. Diseño de la Estación Disipadora</b>	<b>15</b>
5.1. Funcionamiento de los anillos . . . . .	15
5.2. Parámetros de Diseño. . . . .	18
5.3. Layout . . . . .	19
5.4. Condiciones de borde del Diseño . . . . .	19
5.5. Esquema de la Estación . . . . .	21
5.6. Energía Disipada . . . . .	22
5.6.1. Velocidad Límite . . . . .	24
5.6.2. Energía disipada por los anillos . . . . .	27
5.6.3. Energía disipada por las tuberías de la estación (pérdidas regulares) . . . . .	30
5.6.4. Energía disipada por las singularidades (válvulas, T, etc) .	31
5.7. Resultados Cálculos de Energía disipada . . . . .	31
5.8. Flanges y pernos . . . . .	32
5.9. Especificaciones Finales . . . . .	37
<b>6. Comentarios</b>	<b>38</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>43</b>

# Introducción

El presente informe, tiene como objetivo principal ofrecer una breve descripción global de la visita realizada a la planta de flotación Las Tórtolas, perteneciente a la transnacional minera Anglo American Chile.

Las Tórtolas es la planta de flotación de concentrado de Cobre y Molibdeno de la división minera Los Bronces, y se encuentra ubicada en la comuna de Colina a 40 [km] al norte de Santiago.

Con la visita se busca la familiarización con los procesos dados en minas, especialmente en esta planta, asimismo un reconocimiento de los equipos usados en estos procesos, para determinar los parámetros de diseño a considerar en el proyecto semestral del curso. A través de los datos entregados por los encargados de la visita, ya sea por la presentación mostrada o durante el recorrido de la planta se pudo obtener información relevante acerca de los datos de entrada y salida de algunos equipos. En base a esto y a investigación propia en literatura especializada en el rubro se buscará cumplir el objetivo de diseñar un equipo de la planta, en particular el asignado, la estación disipadora.

Esta visita fue realizada el día jueves 8 de Abril, y fue patrocinada por gente de la planta y por el curso ME56B – Taller de Diseño, dictado por el profesor Alejandro Font F.

## Antecedentes

La planta de concentración y tranque de relaves Las Tórtolas forma parte de la división Los Bronces, propiedad de Anglo American Chile.

Se encuentra ubicada en la comuna de Colina a 40 km al norte de Santiago. En esta se recibe el mineral obtenido de la mina a rajo abierto Los Bronces, ubicada a 65 km al noreste de Santiago, en forma de pulpa a través de un mineroducto de 52 km de longitud, partiendo a una altura de 3400 msnm y llegando hasta 750 msnm.

El principal objetivo de la planta Las Tórtolas, es obtener concentrado de cobre y molibdeno del mineral recibido de la mina Los Bronces.

### 2.1. Descripción del Sitio

Se puede observar una foto satelital del emplazamiento de la planta en la Figura 2.1.

En la Figura 2.2, se detallan los procesos por los cuales debe pasar el mineral desde su extracción en la mina hasta el mineroducto, (responsabilidad de la fase inicial de la División Los Bronces), en tanto que en la Figura 2.3 se detallan los procesos existentes en la planta de flotación de las Tórtolas.

### 2.2. Descripción de los procesos

Se procederá a describir a grandes rasgos cada uno de los procesos mencionados en las Figuras 2.2 y 2.3.



Fig. 2.1: Emplazamiento de la plata Las Tórtolas, cortesía de google maps.

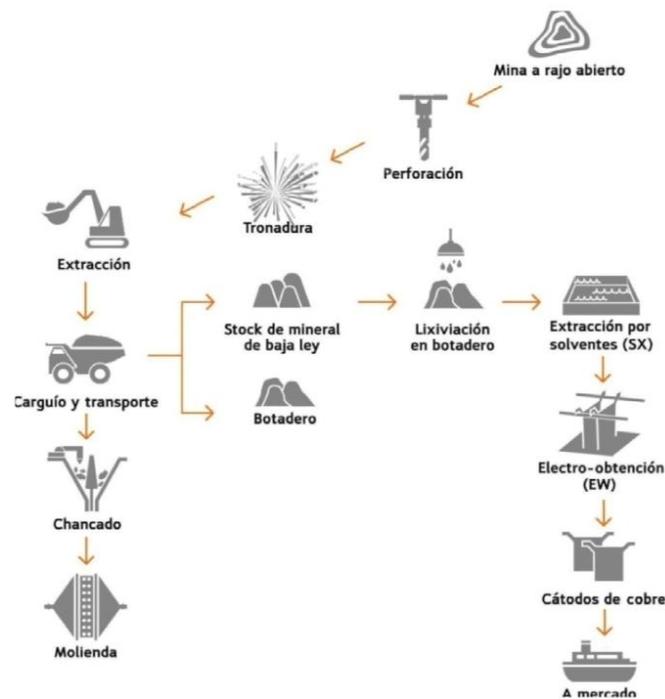


Fig. 2.2: Esquema de procesos en la mina

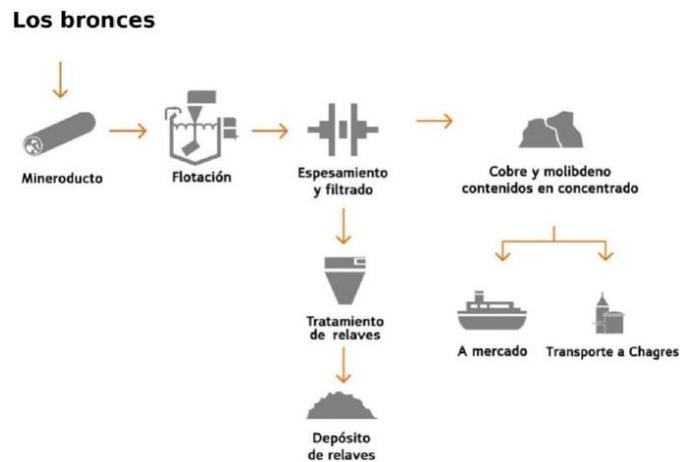


Fig. 2.3: Esquema de procesos en la planta Las Tórtolas

### 2.2.1. División Los Bronces (mina)

#### Mina a Tajo Abierto (E)

Operación minera en la que el proceso extractivo se realiza en la superficie.

#### Perforación (P)

El macizo rocoso se perfora en los puntos de mayor debilidad para la introducción de explosivos.

#### Tronaduras (P)

Mediante una reunión físico-química en cadena, los explosivos producen la fisura y fragmentación del macizo rocoso.

#### Extracción (P)

El mineral tronado es removido con cargadores frontales y/o palas.

#### Carguío y Transporte (P)

Se realiza para tres fines, la producción directa para comercialización, el transporte de desechos a botadero, y el procesamiento de mineral para ser transportado a planta de flotación Las Tórtolas.

En Producción directa se tiene:

### **Stock de mineral de baja ley (R)**

Cantidad de mineral con bajas concentraciones de Cu y Mo.

### **Lixiviación en Botadero (P)**

Las pilas aglomeradas son regadas con una solución de ácido sulfúrico y agua, para producir una solución de sulfato de cobre, la que es escurrida, purificada y concentrada para la electro-obtención.

### **Electro-obtención (P)**

Mediante electrólisis, el cobre se recupera de la solución, constituyendo cátodo de alta pureza (Cu: 99.99 %).

### **Cátodos de Cobre (R)**

Placas de cobre de alta pureza que se obtienen de los procesos de electro-obtención y electro-refinación.

### **A Mercado (P)**

Inicio de etapa de comercialización de los productos.

En Transporte de desechos se tiene:

### **Botadero (E)**

Lugar en se deposita el estéril resultante de los procesos de extracción.

En procesamiento de mineral para ser transportado a Las Tórtolas se tienen los siguientes procesos:

### **Chancado (P)**

El material es reducido de volumen a 1.5 pulgadas y dispuesto en pilas.

### **Molienda (P)**

El material se reduce mediante molinos hasta conformar una pulpa con partículas de hasta  $180\mu m$  ( $0.18mm$ ).

### **Mineroducto (E)**

El mineral molido es enviado en forma hidráulica a través de un mineroducto de 56km hasta la panta de flotación de las Tórtolas.

### **2.2.2. División Las Tórtolas (planta procesado)**

A continuación se presentarán los procesos a grandes rasgos que se dan en la planta visitada, gran parte de los equipos vistos y que serán objeto de estudio en el curso nacen de los procesos descritos a continuación.

### **Flotación (P)**

La pulpa producida en la molienda es sometida a un proceso en el cual el cobre y otros materiales se concentran en espuma, la que es secada para su espesamiento y filtrado.

### **Espesamiento y filtrado (P)**

Mediante el espesamiento del material y un filtro de prensa, el concentrado es secado hasta reducir su humedad a 9%.

A partir de este proceso se generan dos caminos a seguir del mineral, el procesamiento de mineral comercializable y el tratamiento de relaves (desechos).

Para el procesamiento de mineral comercializable se tiene:

### **Cobre y Molibdeno contenidos en concentrado (R)**

Producto minero obtenido a partir de la flotación del mineral de cobre. Sus principales componentes son Cu, S y Fe.

Este producto se comercializa en el mercado o es enviado a la división de Chagres donde se almacena para luego ser fundido y transportado en ánodos de Cu.

### **Tratamiento de relaves (P)**

Una batería de hidrocarburos clasifica la pulpa de relave final. La mayor parte de este material es enviada a un depósito de relave fino mientras que el restante es tratado en filtros de banda, obteniéndose un material de 20% de humedad, que es transportado a un depósito de relaves filtrados.

### **Depósito de relaves (E)**

Lugar especialmente adecuado para depositar los desechos provenientes de los procesos mineros.

# Layout

En esta sección se describirán los procesos por los cuales se trata la pulpa de mineral para mejorar su calidad. En general estos son cíclicos, se busca maximizar la utilización del mineral, aprovechando parte de los residuos de las etapas involucradas en otras etapas.

A continuación se detalla la clasificación expuesta en la Figura **3.1**, correspondiente a la Planta Colectiva.

## **3.1. Planta Colectiva**

### **3.1.1. Transporte desde el mineroducto**

En este punto se incluye el mineroducto, el bypass del mineroducto, las piscinas de emergencia y las estaciones disipadoras. La función del mineroducto es transportar la pulpa de material desde los Bronces a las Tórtolas, el bypass es un desvío que se le aplica al ducto para evitar el paso por zonas urbanas, las piscinas de emergencia son acopios de la pulpa que cumplen con la característica de tener el doble de volumen del que tiene la pulpa de mineral, y las estaciones disipadoras cumplen la función de reducir la energía potencial que lleva la pulpa de mineral por los conductos.

En total hay cinco estaciones, y actualmente se maneja un proyecto de ampliación de la división los Bronces que contempla el aumento del diámetro de las tuberías del mineroducto.

### **3.1.2. Circuito Rougher**

En la planta las Tórtolas, el primer circuito Rougher se encarga del proceso de flotación primaria de la pulpa para producir una espuma rica en cobre y molib-

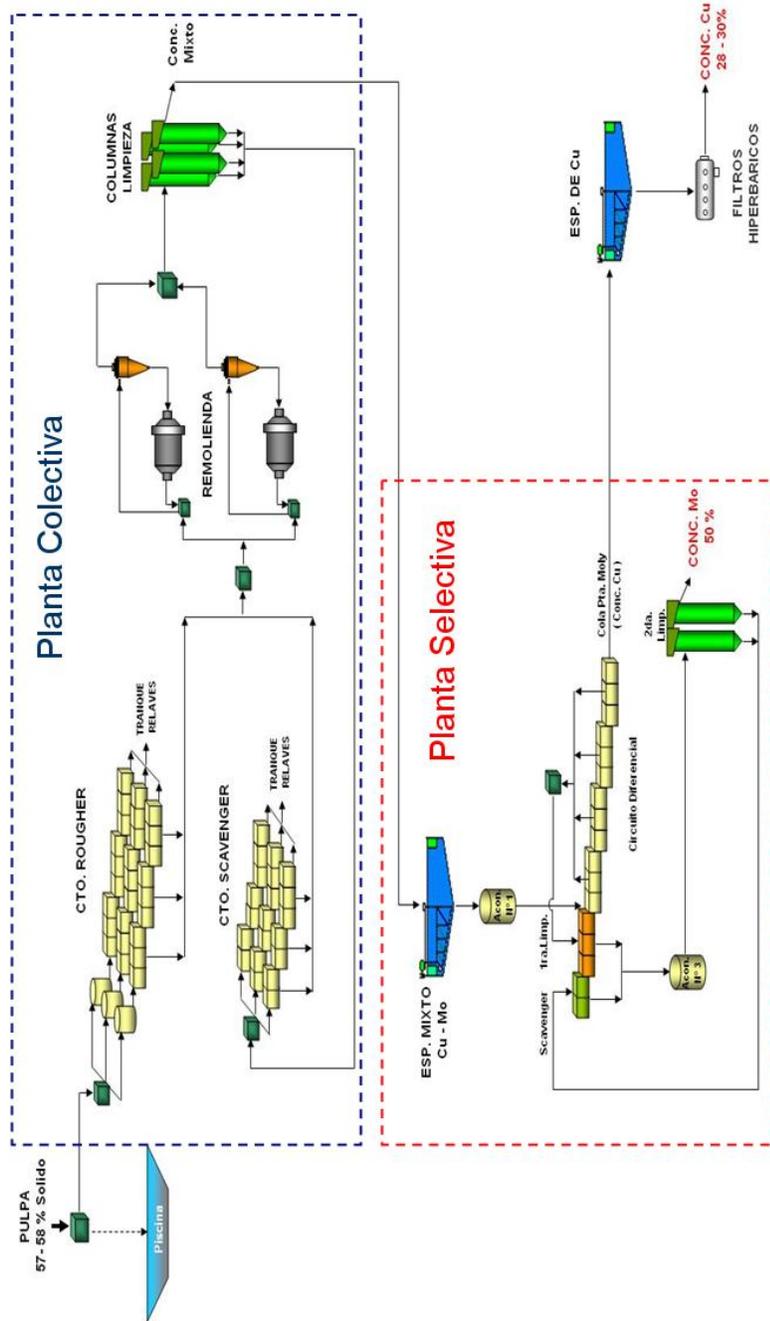


Fig. 3.1: Flowsheet planta Las Tórtolas

deno mediante la combinación con algunos químicos hidrófobos, y el posterior proceso de mezcla por algunas horas.

Luego dicha espuma es extraída de las celdas de flotación, pasando a ser concentrado mixto, y una parte es transportada hasta el molino de remolienda mientras que otra parte pasa a un segundo circuito de flotación: el circuito Scavenger.

### **3.1.3. Circuito Scavenger**

Este circuito se encarga de la flotación secundaria, lo que no es más que un segundo proceso de obtención de concentrado mixto, el que luego es derivado a los molinos de remolienda.

### **3.1.4. Tranques de relave**

Primero el material que es especificado como relave en la planta colectiva, pasa por un segundo ciclo de selección, en donde se obtiene un poco más de cobre y molibdeno, y el material restante se almacena en tranques de relave para su posterior desecho en depósitos de relave.

### **3.1.5. Molinos de Remolienda**

En esta etapa, la parte sólida del concentrado mixto es disminuida en su granulometría, al estar procesadas en un molino con bolas de acero de 1", para luego ser derivada a las columnas de limpieza.

### **3.1.6. Columnas de Limpieza**

En esta etapa, se continúa con el proceso de flotación de limpieza, lo cual permite aumentar la ley del concentrado y permite separar parte del relave de material estéril.

## **3.2. Planta Selectiva**

### **3.2.1. Espesador Mixto (Cu y Mo) y Scavenger**

En esta etapa, se aumenta la concentración de la pulpa reduciendo el nivel de agua presente en la misma. Posteriormente se deriva a un circuito Scavenger de limpieza en donde el objetivo es separar el cobre del molibdeno, por medio de la flotación de este último.

### **3.2.2. Circuito diferencial y columna de limpieza**

En el circuito diferencial, el concentrado mixto es mediante flotación separado en concentrado de cobre y molibdeno, de manera de retirar en forma de espuma el molibdeno, y dejando "en la cola" el concentrado de cobre.

Este concentrado de molibdeno es posteriormente secado, filtrado, envasado y almacenado.

## **3.3. Etapa final**

### **3.3.1. Espesador de Cu**

El concentrado de cobre obtenido del circuito diferencial, es finalmente espesado aumentando así la concentración de cobre presente en él.

### **3.3.2. Filtros hiperbáricos**

Finalmente, el concentrado de cobre una vez ya espesado, es sometido a unos filtros hiperbáricos en donde se termina de mejorar su ley, llegando a una calidad comercial.

## Detalle de las unidades de la planta

En este capítulo, se describirá con un poco más de detalle los equipos involucrados.

En la Figura 4.1, se muestran algunos valores con los cuales trabajan las estaciones de la División Los Bronces, en tanto que en la Tabla 4.1 un breve inventario de los equipos de la planta con sus capacidades nominales.

**Tabla 4.1:** Inventario general de la planta.

Equipos	Unidades	características
Celdas de Flotación	51	4500-300-1500 $ft^2$
Columnas de limpieza	4	16 $m^2$
Molinos de Remolienda	2	2000 <i>HP</i>
Filtros Hiperbáricos	2	60 $m^2$
Espesadores	2	90 -100 <i>ft</i> de diámetro
Planta de Molibdeno	1	2.6 ktpa - 50 % Mo

Fuente:AngloAmerican

A continuación se detallarán las condiciones de operación de los equipos asignados a los grupos durante el semestre en el curso.

### 4.1. Estación Disipadora

De la Figura 4.1 se observa que para el tercer disipador, el más cercano a la planta de flotación, se tienen las siguientes variables de funcionamiento.



Fig. 4.1: Diagrama sinóptico de los procesos de las plantas

- Caudal másico: 1895 Ton/h
- Caudal volumétrico: 775 lt/s
- Razón mezcla: 47 %Sol

Además se tiene una lista con los volúmenes esperados para el conjunto de espesadores, que se muestra a continuación:

- Estación Disipadora 0: 5100  $m^3$
- Estación Disipadora 1: 4850  $m^3$
- Estación Disipadora 1.5: 2800  $m^3$
- Estación Disipadora 2: 2400  $m^3$
- Estación Disipadora 3: 900  $m^3$

## 4.2. Espesador de Concentrado

Se encuentran dos tipos de espesador en la planta las Tórtolas. Un espesador Mixto que cumple la función de separar al Mo del Cu, haciéndolo flotar en un

pozo y dejando depositado el cobre al fondo del mismo. Saliendo de la planta de Mo se tiene un espesador exclusivo de cobre.

Las variables relevantes para estos espesadores son las capacidades de almacenaje de pulpa (volumen visto por el diámetro y altura del elemento), el pH, la densidad y presión de la estación. Los diámetros manejados son del orden de decenas de *pies* (90-100 *ft*).

### 4.3. Molino de Bolas

Tal como se muestra en la Tabla 4.1, en esta planta hay dos molinos de remolienda, que funcionan con una potencia de 2000 *HP*. Al momento de la visita uno de éstos se encontraba en reparación.

### 4.4. Batería de Hidrociclones

Forman parte de la molienda secundaria, de las operaciones de molienda HP-GR.

Esta última está constituida por tres molinos de rodillos de alta presión, seguidos por tres molinos de bolas en serie y luego la batería de hidrociclones.

### 4.5. Cámara Hiperbárica

Hay en total 2 cámaras hiperbáricas cubriendo un área de 60  $m^2$  cada una. Este elemento se encuentra dentro de las últimas etapas de procesamiento del mineral de cobre, y se aplica al material procesado en la planta de Mo tras pasar por el segundo de los espesadores, el de cobre.

### 4.6. Piping

Se utilizan dos sistemas de Piping. El primero de estos es el que comunica la piscina de acopio y la de flotación Rougher. El segundo se encarga de la alimentación de los hidrociclones, incluyendo las líneas de los molinos de bolas hacia los hidrociclones y la línea de flotación Rougher hasta éstos.

## Diseño de la Estación Disipadora

Una estación disipadora, es un componente que trabaja en conjunto con el mineroducto, y en cierta medida comparte muchos de sus requerimientos y problemas técnicos.

Su función principal es la de *disipar* la presión extra que se genera sobre el fluido transportado, debido a la diferencia de cota entre la entrada y la salida del tramo de tubería que recorre el mismo.

Dentro de sus componentes, se encuentran una serie de tuberías (las que son de similares características a las del mineroducto), válvulas de paso, válvulas de desvío (para bypass), sistemas de medición de presión y velocidad (instrumentación), y unos anillos cerámicos.

El principal componente de la estación, son los anillos cerámicos, ya que cuando el fluido pasa a través de los mismos, se produce la pérdida de carga.

### 5.1. Funcionamiento de los anillos

Un anillo de disipación, es un componente que provoca un cambio brusco de sección en un tramo de tubería.

Físicamente, el mecanismo de acción que utiliza es el de la placa orificio, que básicamente es una singularidad consistente en una reducción y un posterior retorno a la sección original, en un tramo de tubería tal como se puede ver en la Figura 5.1.

Una fotografía de un anillo cerámico de disipación se encuentra en la Figura 5.2, que corresponde a la mina Antamina en el norte de Perú.

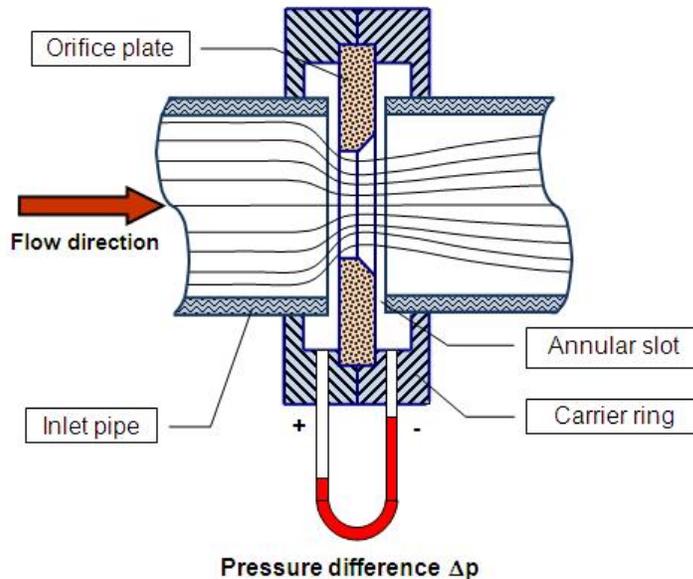


Fig. 5.1: Sistema de placa-orificio

Para comprender como se produce la caída de presión, se debe tomar en cuenta primero la Figura 5.3, que corresponde a la salida del anillo.

Suponiendo que el fluido viaja de izquierda a derecha, inicialmente la vena fluída tiene un diámetro igual al de la tubería, sin embargo, al llegar a la restricción, se produce una contracción de la vena fluída, lo que provoca por conservación del caudal, un aumento en la velocidad del flujo, con la consiguiente caída en la presión del mismo.

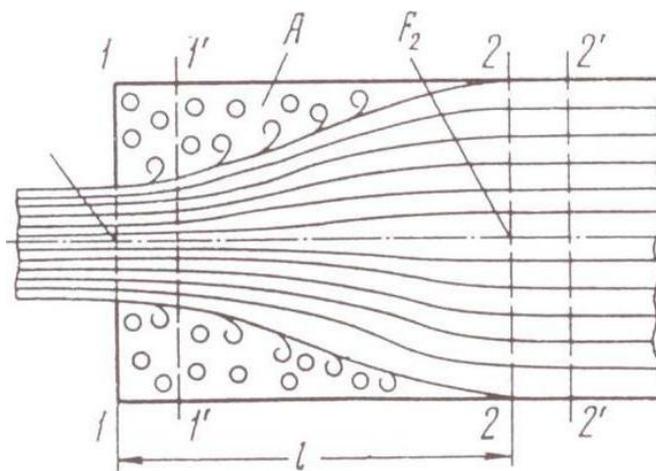
Posteriormente, al salir de la restricción, las partículas ganan velocidad, nuevamente debido al cambio de sección (ésta vez por un aumento en el diámetro) y por conservación del caudal.

Sin embargo, en la sección 1-1, las partículas de fluido que vienen con una velocidad mayor, al encontrarse con las partículas delante de ellas a menor velocidad, "chocan" con éstas por lo que se ven obligadas a desplazarse en un sentido normal a la tubería, lo que provoca una dilatación de la vena fluída.

Este desplazamiento normal que se produce entre las secciones 1-1 y 2-2, llenando la zona "A" de líquido, provoca que en dicha zona se produzca vorticidad, la que no es parte del movimiento fundamental del líquido, provocando de



**Fig. 5.2:** Fotografía de un anillo cerámico de Disipación



**Fig. 5.3:** Mecanismo de caída de presión en una placa orificio

esta manera una pérdida de presión en el fluido.

Es importante notar que dependiendo del caudal y sección del fluido, del tamaño de la reducción de la sección, y de las presiones a la entrada y salida de la estricción, puede provocarse que localmente el fluido alcance una presión menor a la de vapor (a la temperatura que se encuentre), razón por la que puede ocurrir cavitación.

## 5.2. Parámetros de Diseño.

Para definir los parámetros de diseño de una estación disipadora, primero se debe comprender la naturaleza de los problemas que debe enfrentar:

- Evitar que el material sólido en suspensión en la pulpa se deposite en el fondo de las tuberías, esto es, evitar que se “embanque”.
- Mantener controlada la presión de la pulpa.
- Mantener controlado el nivel de cavitación en la estación disipadora.

Para el primer punto, se debe volver necesario definir una “velocidad límite de depósito”, la que puede ser modelada de acuerdo a la fórmula de Durand, o la de Durand modificada por JRI[3]<sup>1</sup>.

Para el segundo y tercer punto, se deben dimensionar adecuadamente la cantidad y diámetros de los anillos cerámicos, que son los encargados de provocar la pérdida de carga (mayoritariamente ya que la propia longitud de tubería también provoca una pérdida de carga, aunque muchísimo menor).

Por lo tanto, se definen los siguientes parámetros de diseño:

- Debe poder disipar una presión de 2500 psi.
- Debe permitir desvío hacia piscinas de emergencia.
- Flujo máximo = 1050 l/s
- Capacidad = 100 ktpd
- Granulometría máxima = 240  $\mu m$

---

<sup>1</sup>pág. 19

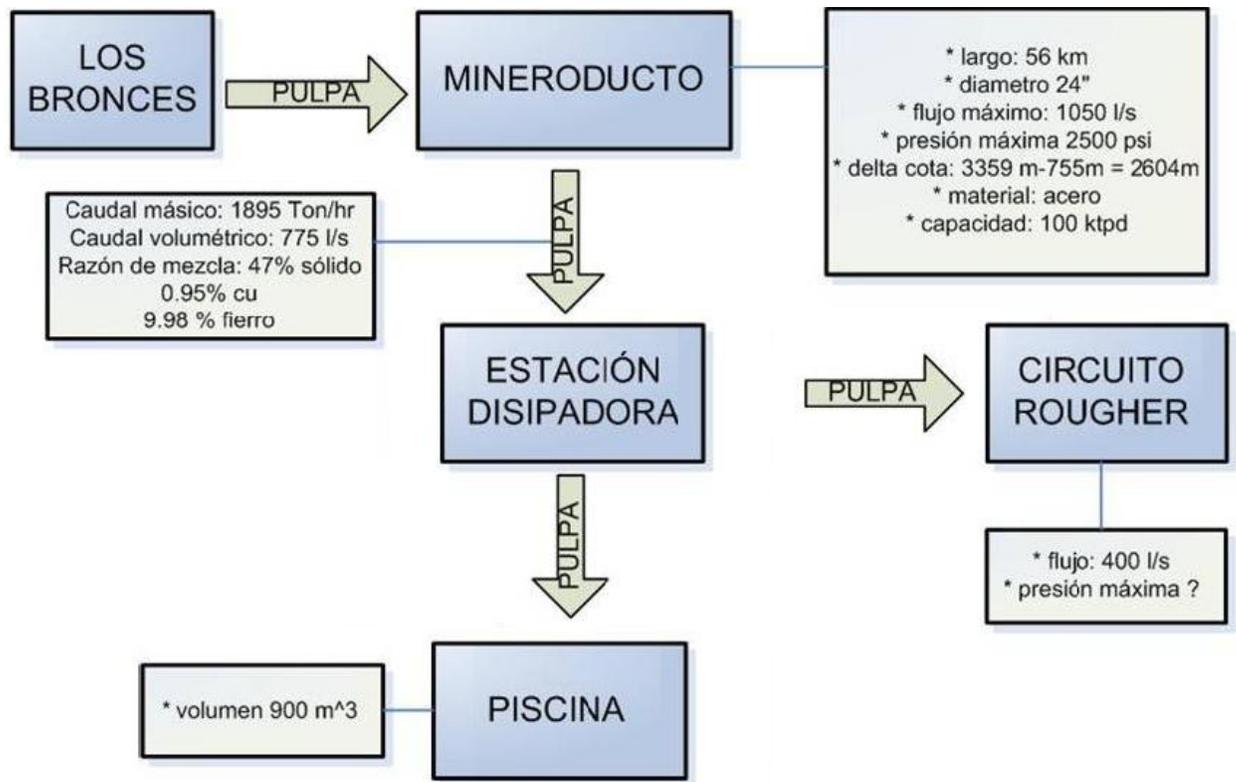


Fig. 5.4: Layout Estación Disipadora

### 5.3. Layout

La estación disipadora presenta un diagrama de flujos de acuerdo a la Figura 5.4, en donde se indican los flujos, input y output de la misma.

### 5.4. Condiciones de borde del Diseño

Las condiciones de Borde para las cuales se diseñó la estación disipadora, se detallan en la Tabla 5.1.

Algunos de éstos valores fueron entregados directamente por AngloAmerican, mientras que otros tuvieron que ser deducidos a partir de los datos entregados, mediante las ecuaciones 5.1 a 5.4.

**Tabla 5.1:** Condiciones de Borde del problema de diseño.

Variable	Valor usado	Unidad de medida
$\dot{m}$ : caudal másico	526,39	kg/s
$\dot{q}_{max}$ : caudal volumétrico máx	1,05	m <sup>3</sup> /s
$C_p$ : fracción sólido en peso	47	%
$C_v$ : fracción sólido en volumen	16,46	%
$\rho_s$ : densidad fracción sólida	4500,00	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_a$ : densidad agua	1000,00	kg/m <sup>3</sup>
$\rho_p$ : densidad pulpa	1576,18	kg/m <sup>3</sup>
$\phi_t$ : diámetro tubería	0,6096	m
$A_t$ : Área Tubería	0,29	m <sup>2</sup>
$v_{entrada}$ : v entrada promedio máx	3,60	m/s
$f.s.$ : factor sobrepresión descarga a piscina	1,88	adim
$P_{entrada}$ : presión máxima entrada	17236893,23	Pa
$P_{atm}$ : presión atmosférica	101325,00	Pa
$P_{salida\ ultima\ etapa}$ : P salida ult. etapa	190389,68	Pa
$\Delta P$ : delta P	16.945.178,55	Pa
$T_{pulpa}^{\circ}$ : Temperatura promedio pulpa	20	°C

Fuente:Elaboración Propia en base a Datos de AngloAmerican

$$\rho_p = \frac{1}{\frac{C_p}{\rho_s} + \frac{1-C_p}{\rho_a}} \quad (5.1)$$

$$C_v = C_p \frac{\rho_p}{\rho_s} \quad (5.2)$$

$$P_{descarga} = f.s. \cdot P_{atm} \quad (5.3)$$

$$\Delta P = P_{entrada} - P_{atm} - P_{salida\ ultima\ etapa} \quad (5.4)$$

El factor de sobrepresión  $f.s.$  es un coeficiente que pondera a la  $P_{atm}$  de modo de calcular la presión en el tramo final de tubería desde la tubería de salida del último anillo hasta la descarga.

La variación de presión  $\Delta P$ , es la presión que debe disipar toda al estación, considerando para ello las etapas completa, tal como se muestra en la Figura 5.6.

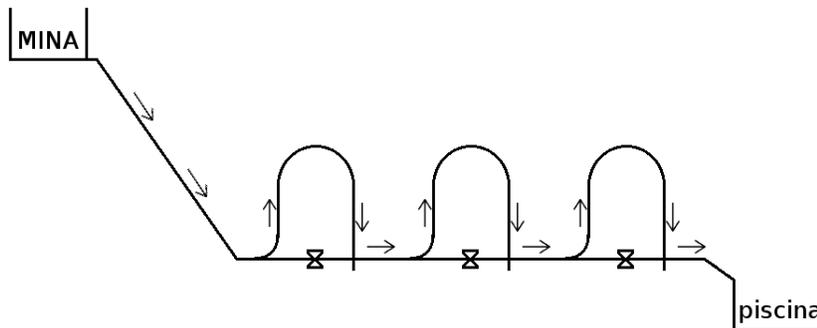


Fig. 5.5: Esquema General de una Estación Disipadora

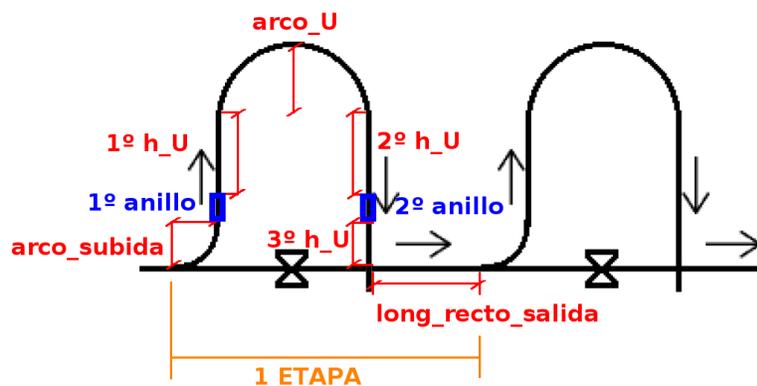


Fig. 5.6: Detalle de una etapa de la Estación Disipadora

## 5.5. Esquema de la Estación

Se presenta un esquema representativo de la Estación disipadora en la Figura 5.5.

La estación se dividió en varias etapas idénticas, y un esquema detallado de una de ellas se puede observar en la Figura 5.6.

En la primera aparecen 3 “U invertidas”, donde cada una corresponde a 1 etapa, sin embargo en realidad la estación no tendrá 3 etapas, sino que éstas 3 son meramente referenciales.

Cada etapa de la estación disipadora posee 2 anillos cerámicos que están dispuestos en los tramos verticales de la U invertida, junto con un tramo recto

llamado  $h_U$  a la salida de los mismos, de manera que el perfil de velocidad alcance a desarrollarse completamente antes de ingresar a otro anillo.

Cada etapa se separó en los siguientes tramos:

- Arco de subida: Tubería curva con forma de arco igual a  $\frac{1}{4}$  de circunferencia.
- 1° Anillo de disipación
- 1° tramo recto  $h_U$ : Tramo recto de tubería para permitir que se desarrolle el perfil de velocidad.
- $Arco_U$ : Tubería curva en forma de U.
- 2° tramo recto  $h_U$
- 2° Anillo de disipación
- 3° tramo recto  $h_U$
- Tee de conexión
- *Long recto salida*: Tramo recto de tubería conectado al final de cada etapa.

Adicionalmente, se agrega un tramo de tubería recta a *Long recto salida* en la última etapa, ya que ésta debe descargar hacia la piscina (aquí es donde se considera el factor de sobrepresión *f.s.*).

## 5.6. Energía Disipada

Si bien la pulpa dentro de su composición contiene partículas en suspensión de diferentes granulometrías (entre 50 y 240  $\mu m$ ), éstas son suficientemente pequeñas en diámetro (47% de  $C_p$ ), y la velocidad del flujo suficientemente alta, como para que la mezcla esté en régimen de suspensión homogénea de acuerdo a la Figura 7.1.

Dada su baja concentración en volumen  $C_v$ , los efectos predominantes de roce con las paredes de la tubería son esencialmente debidos al contacto de ésta con el agua y no con las partículas sólidas en suspensión.

Por esta razón, los cálculos se sustentan en el supuesto que los efectos predominantes de pérdidas de carga se deben al fluido (agua), y se calculan como si el fluido en sí mismo fuese sólo agua, para después aplicarle algunas correcciones.

Por otro lado, la pulpa en su recorrido mantiene un contacto permanente con las paredes interiores de la tubería de la estación disipadora (además de las del mineroducto), los anillos de disipación de energía, y todas aquellas “singularidades” como válvulas, toberas de descarga, desvíos y T de conexión, por esta razón para el análisis de pérdidas de energía que debe producir y controlar la estación disipadora, se ha dividido la disipación de energía en 3 ítems principales:

- Energía disipada por los anillos
- Energía disipada por las tuberías de la estación (pérdidas regulares)
- Energía disipada por las singularidades (válvulas, T, etc).

Para poder realizar el cálculo de la Energía disipada, se adoptó el siguiente análisis (las variables mencionadas acá se definen en las secciones siguientes):

1. Se divide cada etapa de acuerdo a la Figura **5.6**, de manera de poder calcular cada pérdida según su naturaleza (por anillo, regular (longitud de tubería), o singular).
2. Se define un número preliminar de anillos, lo que a su vez define el número de etapas (cada etapa tiene 2 anillos).
3. Se definen unas dimensiones preliminares de  $h_U$ ,  $Arco_U$ , tramo recto  $h_U$  y *Long recto salida*, para poder calcular las pérdidas regulares y singulares.
4. Se define un factor de seguridad, que se multiplica por  $\Delta P$  (ver Tabla **5.1**), y se define así la presión total a disipar por la estación.
5. Se determina la diferencia entre la presión total a disipar por la estación y las presiones regulares y singulares de cada etapa (corregidas por el factor de corrección de McElvain y Cave).
6. Utilizando el coeficiente de cavitación  $\sigma$ , se determina que el último anillo de la última etapa, es el que genera las condiciones más críticas y por lo tanto es el que define los parámetros para determinar el diámetro más pequeño posible sin que el anillo cavite.
7. Se determina posteriormente el número preliminar de etapas, y con éste se define un número de etapas definitivo, de manera de calcular así los nuevos diámetros y las pérdidas correspondientes a los anillos.
8. Finalmente se determinan las pérdidas de cada tramo de la primera etapa, que deben ser iguales para todas las etapas.

### 5.6.1. Velocidad Límite

La pulpa, al ser una mezcla bifásica de agua con partículas en suspensión, es susceptible de sufrir la precipitación de la fase sólida al viajar por una tubería, por esta razón se vuelve fundamental que el flujo sea turbulento, y que la velocidad de éste sea tal que no se produzca sedimentación en la pared inferior de las mismas.

Para determinar la naturaleza del flujo, primero se determina el número de Reynolds<sup>2</sup>, de acuerdo a la ecuación 5.6. Si su valor es menor que 2000, el flujo se considera laminar; si está entre 2000 y 4000 se considera de transición, y si es mayor que 4000, se considera turbulento.

Durante el siglo XX, particularmente sobre la segunda mitad del mismo, Durand (1953) estudió el fenómeno del transporte de partículas en suspensión en un líquido, y postuló una relación matemática que permite encontrar la velocidad límite a partir de la cual ya no se produce el fenómeno de sedimentación.

$$V_L = FL \cdot \sqrt{2gD(S-1)} \quad (5.5)$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (5.6)$$

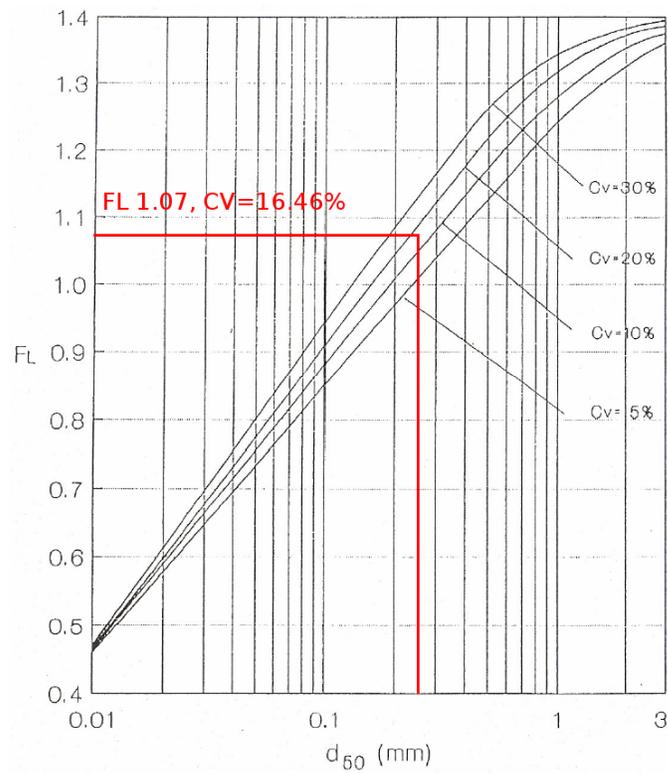
Donde

$V_L$	: Velocidad límite en $m/s$
$FL$	: Factor de McElvain y Cave (ver Figura 5.7)
$g$	: Aceleración de gravedad ( $9.81 m/s^2$ )
$D$	: Diámetro de la tubería en $m$
$S$	: Gravedad Específica de la pulpa ( <i>adim</i> )
$\rho$	: Densidad del fluido en $Kg/m^3$
$v$	: Velocidad (media) del fluido en $m/s$
$d$	: Diámetro de la tubería en $m$
$\mu$	: Viscosidad Dinámica del fluido en $Pa \cdot s$

A su vez, Juan Rayo Ingeniería (JRI) modificó esta fórmula para aplicarla al caso Chileno, obteniendo:

$$V_L = 1,25 \cdot FL \cdot \sqrt[4]{2gD(S-1)} \quad (5.7)$$

<sup>2</sup>la viscosidad de la pulpa se determina de acuerdo a la ecuación 5.20



**Fig. 5.7:** Factor de McElvain y Cave en función de la granulometría en mm

**Tabla 5.2:** Resultados del cálculo de la Velocidad Límite

$d$ (granulometría)	0,2400	$mm$
$C_v$	16,4600	%
$FL$	1,0700	$adim$
$D$	0,6096	$m$
$S$	1,5762	$adim$
$V_L$ (durand JRI)	2,1665	$m/s$
$v_L$ (durand original)	2,8075	$m/s$

Fuente:Elaboración Propia

La pulpa a tratar en realidad contiene una mezcla de varios tamaños de partículas, pero dado que la Velocidad límite es directamente proporcional a la granulometría (pasando por el gráfico de McElvain y Cave), entonces se determina que el valor crítico para el cálculo queda dado por la partícula más grande.

Para el caso del diseño de este informe, se obtienen entonces los resultados listados en la Tabla 5.2.

Es importante destacar que hay una gran diferencia entre la velocidad límite obtenida por durand y la obtenida por durand/JRI, aproximadamente de un 30 %, y a su vez, que la velocidad de entrada es 1,66 veces la velocidad estimada por JRI y 1,28 veces la estimada por Durand originalmente.

Respecto del perfil de velocidad, para flujo turbulento se tiene, de acuerdo a [4]<sup>3</sup>, la ecuación 5.8.

$$U = V(1 + 1,43\sqrt{\lambda} + 2,14\sqrt{\lambda}\log(1 - r/r_0)) \quad (5.8)$$

Donde

- $v$  : Velocidad promedio del perfil en  $m/s$
- $\lambda$  : Coeficiente de fricción  $adim$
- $r$  : Distancia desde el punto de medición a la fibra neutra de la vena en  $m$
- $r_0$  : Radio de la estricción en  $m$

<sup>3</sup>Sección 9.5, ec 9-3a

## 5.6.2. Energía disipada por los anillos

### Modelo de Placa Orificio

Para determinar la energía disipada por los anillos, éstos se modelaron en principio como si fuese una placa orificio, por lo que se utilizó la ecuación 5.9.

$$\Delta h_s = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5.9)$$

Donde

- $\Delta h_s$  : Pérdida de carga en *m.c.a.*  
 $K$  : Coeficiente de pérdida que depende de la forma y los diámetros *adim*  
 $v$  : Velocidad Promedio en la sección menor en *m/s*

Si la velocidad, se calcula en función del caudal, y la sección en función del diámetro de la tubería, se obtiene la siguiente relación:

$$\Delta h_s = \frac{16 K}{2 g \Pi^2} \cdot \frac{Q^2}{\phi^4} \quad (5.10)$$

Donde

- $Q$  : Caudal volumétrico en *m<sup>3</sup>/s*  
 $\phi$  : Diámetro de la sección mínima en *m*

que a su vez se puede resumir en la ecuación 5.11.

$$\Delta h_s = A \frac{Q^2}{\phi^4} \quad (5.11)$$

De acuerdo a [4]<sup>4</sup>, el valor para K sería mayor a 0,72, ya que la velocidad para una reducción de diámetro del orden de 1/3 sería del orden de 30 *m/s*, considerando un ángulo de apertura de al menos 60°.

Para este valor de  $K$ , el resultado de las multiplicaciones de las constantes devuele un valor de  $A = 0,05949$ , sin embargo, en la misma referencia se hace notar que éste es sólo un valor estimado y que se debe dar preferencia a valores

<sup>4</sup>subsección 10-4 de la referencia, Tabla 10.2

experimentales.

De esta manera, de acuerdo con [5]<sup>5</sup>, para otro mineroducto operando en Chile se obtuvo un valor de  $A = 0,0624$ , razón por la que se utilizó este valor para los cálculos del presente diseño.

### Cavitación

Uno de los problemas importantes que se produce al generar pérdidas de carga en los anillos, es que a la salida de éstos el fluido alcance una presión menor a la de vapor, produciendo así cavitación.

Para evitar este problema, es importante dimensionar adecuadamente el diámetro del anillo.

Un parámetro útil utilizado para especificar bombas, es determinar los valores de  $NPSH_{requerido}$  y  $NPSH_{disponible}$ , que de acuerdo a [6] se define según la ecuación 5.12, mientras que en [4]<sup>6</sup>, se define 5.13, y seleccionar de tal modo que se respete la ecuación 5.14<sup>7</sup>, sin embargo, para el caso en estudio del anillo, se utilizará la versión modificada de la misma, descrita en la ecuación 5.15, tal como se describe en [5]<sup>8</sup>.

$$NPSH_{requerido} = H_z + \frac{v_a^2}{2g} \quad (5.12)$$

$$NPSH_{disponible} = H_{sp} \pm H_w - H_f - H_{vp} \quad (5.13)$$

Donde

- $H_z$  : Presión mínima necesaria a la entrada en *m.c.a.*
- $v_a$  : Velocidad del fluido a la entrada en *m/s*
- $H_{sp}$  : Presión absoluta en el punto de aspiración en *m.c.a.*
- $\pm H_w$  : Altura geométrica de aspiración en *m.c.a.*
- $H_f$  : Pérdida de carga en la línea de aspiración en *m.c.a.*
- $H_{vp}$  : Presión de vapor del fluido en *m.c.a.*<sup>9</sup>

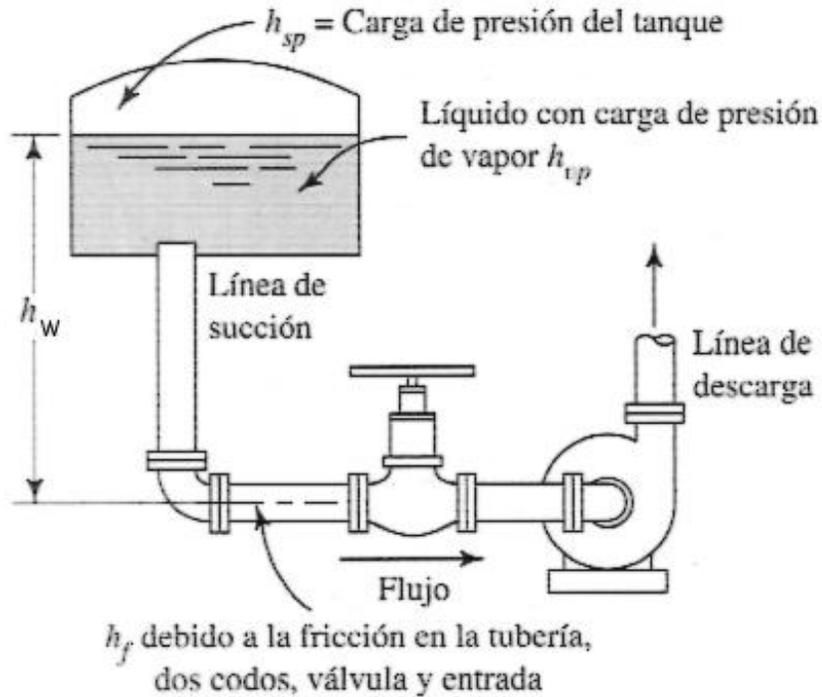
En la Figura 5.8, se puede ver la disposición gráfica de cada una de las variables.

<sup>5</sup>ecuación II.11, pág. 23

<sup>6</sup>ecuación 13-14

<sup>7</sup>[4] ecuación 13-13

<sup>8</sup>ecuación II.13



**Fig. 5.8:** Diagrama gráfico de la disposición de variables para el cálculo de NPSH

$$NPSH_{disponible} \geq 1,1 \cdot NPSH_{requerido} \quad (5.14)$$

$$\sigma = \frac{NPSH_{disponible}}{NPSH_{requerido}} \quad (5.15)$$

$$\sigma \geq 1,5 \quad (5.16)$$

Finalmente, [5] especifica que para evitar la cavitación, se debe exigir la relación descrita en la ecuación 5.16.

En el caso de este diseño, se utilizaron las siguientes simplificaciones:

- $H_z = 0$ , peor caso es suponer que no hay presión a la entrada.
- $v_a = v_i$ , la velocidad es la promedio en la estricción.
- $H_{sp} = P_{atm} + H_s + \Delta H_s$ , presión absoluta a la entrada de la estricción.

- $\pm H_w = 0$ , suponemos que entrada está a igual cota que salida (por simpleza)
- $H_f = 0$ , como se mide a la entrada de la estrangulación, no hay pérdidas por longitud de tubería antes (la longitud de tubería sería cero).

Para determinar el diámetro mínimo tal que no se produzca cavitación, se utilizó en conjunto con la ecuación 5.15, la ecuación de conservación de caudal, de manera que la velocidad quede como función del diámetro, y el  $\Delta H_s$  también gracias a la ecuación 5.11, resultando en la ecuación 5.17.

$$\phi \geq \sqrt[4]{\frac{\sigma_{limite} V_0^2 \phi_{tuberia}^4 - A Q^2}{H_{sp} - H_{vp}}} \quad (5.17)$$

Donde

$\sigma_{limite}$  : Factor de seguridad igual a 1,4 *adim*

### 5.6.3. Energía disipada por las tuberías de la estación (pérdidas regulares)

Para determinar las pérdidas regulares, se utilizó el criterio de suponer que la pulpa se comporta como si fuese agua (pero con su densidad y viscosidad propias), y luego se le aplicó el factor de corrección de McElvain y Cave como se mencionó anteriormente.

La ecuación utilizada es la 5.18, que depende del coeficiente de fricción, por lo que éste se calculó mediante la fórmula de Swamee-Jaine según la ecuación 5.19.

Para determinar el número de Reynolds del fluido, se determinó primeramente la viscosidad de la pulpa utilizando la ecuación de Wellman escrita en 5.20, la cual está recomendada por [3]<sup>10</sup> ya que se determinó utilizando datos de relaves Chilenos. Luego, se puede determinar el número de Reynolds según la ecuación 5.6.

<sup>10</sup>[3] pág. 9

$$H_{rp} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5.18)$$

$$\lambda = \frac{0,25}{\log\left(\frac{e}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}\right)^2} \quad (5.19)$$

$$\frac{\mu_{pulpa}}{\mu_{agua}} = \frac{e^{-10,4C_v}}{\left(1 - \frac{C_v}{0,62}\right)^8} \quad (5.20)$$

Donde

- $H_{rp}$  : Pérdida de carga regular en *m.c.a.*  
 $L$  : Longitud del tramo en *m*  
 $D$  : Diámetro de la tubería en *m*  
 $v$  : Velocidad media del perfil en el tramo en *m/s*  
 $e$  : Rugosidad media de la tubería en *mm*

#### 5.6.4. Energía disipada por las singularidades (válvulas, T, etc)

Las pérdidas singulares se determinan de una manera similar a las regulares, utilizando la ecuación 5.21, mientras que los factores de pérdidas singulares, se pueden obtener de la Tabla 5.3.

$$H_{rs} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5.21)$$

Donde

- $K$  : Coeficiente de pérdida, depende de cada tipo de singularidad

### 5.7. Resultados Cálculos de Energía disipada

Utilizando las ecuaciones, Tablas y gráficos antes descritos, se realizó el cálculo de las energías disipadas para cada componente de la primera etapa, cuyos resultados se pueden ver en las Tablas 5.4 a 5.10.

Salvo los valores de presión de entrada y salida, las pérdidas en todas las etapas son las mismas.

**Tabla 5.3:** Tabla de factores de pérdidas singulares

arco subida	0.75
U extendida	1.50
T	1.50
Válvula corte	0.75

Fuente:[4],PONER LUGAR DE ORIGEN DE TABLA

**Tabla 5.4:** Velocidad límite

$d$ (granulometría)	0,24	$mm$
$C_v$	16,460	%
$FL$	1,070	ver Figura 5.7
$D$	0,6096	$m$
$S$	1,576	$adim$
$V_L$ (durand JRI)	2,167	$m/s$
$V_L$ (durand original)	2,807	$m/s$
$V_{pulpa}/V_L$ JRI	1,660	$adim$
$V_{pulpa}/V_L$ Durand	1,280	$adim$

Fuente:Elaboración Propia

La velocidad máxima estimada en el interior de la estricción (punto medio), fue de  $86.142 m/s$ , lo que equivale a un aumento de casi 33% respecto de la velocidad utilizada para el cálculo de cavitación. Sin embargo, esto no representa un problema ya que para que se alcance dicha velocidad, el coeficiente  $\sigma$  tendría que bajar de 1,4 a 1,33, es decir, un 7%, lo que está dentro del margen de protección que brinda el coeficiente de seguridad.

## 5.8. Flanges y pernos

La selección de Flanges, pernos y sistema de unión se realizó utilizando la norma ASME 31.11, llegando a los resultados de la Tabla 5.11.

**Tabla 5.5:** Rheología de la pulpa.

viscosidad dinámica agua $\mu_a$	2,5 E-03	$kg/(ms)$
viscosidad dinámica pulpa $\mu_p$	5,328 E-03	$kg/(ms)$
Reynolds (pulpa)	648785,541	<i>adim</i>
Reynolds (misma velocidad)	877231,970	<i>adim</i>

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 5.6:** Número preliminar anillos

núm. anillos	12
núm. etapas	6

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 5.7:** Dimensiones Finales de la U

<i>arco subida (1/4 circunf.)</i>	7,854	<i>m</i>
<i>h<sub>U</sub></i>	5,000	<i>m</i>
<i>arco<sub>U</sub></i>	15,708	<i>m</i>
<i>long recto salida U</i>	5,000	<i>m</i>
<i>radio curvatura U</i>	5,000	<i>m</i>
<i>largo total U</i>	43,562	<i>m</i>

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 5.8:** Energía a disipar

Factor de Seguridad $\Delta P$	1,1	<i>adim</i>
Fracción a disipar por anillos	98,128	%
Presión entrada a la estación	1934,750	<i>m.c.a.</i>
Presión salida estación (punto de descarga)	10,330	<i>m.c.a.</i>
$P_{atm}$	10,330	<i>m.c.a.</i>
$P_v$	0,240	<i>m.c.a.</i>
Presión total a disipar (total estación)	1924,420	<i>m.c.a.</i>
Pérdidas regulares y singulares (sin anillos) para 1 etapa		
Regulares		
Rugosidad media ( $e$ )	0,015	<i>mm</i>
$\lambda$	0,05285	<i>adim</i>
Factor corrección McElvain-Cave ( $FL$ )	1,1	<i>adim</i>
Pérdida long U	2,491	<i>m.c.a.</i>
Pérdida long U (corregido McElvain Cave)	2,740	<i>m.c.a.</i>
Singulares		
Arco subida	0,75	
U extendida	1,50	
T	1,50	
Válvula corte	0,75	
Pérdidas singulares U	2,968	<i>m.c.a.</i>
Pérdidas singulares U (corregido McElvain Cave)	3,265	<i>m.c.a.</i>
Presión disipada en U y Anillos		
Presión total a disipar long. tub.	36,034	<i>m.c.a.</i>
Presión total a disipar anillos( $\Delta P$ )	1888,390	<i>m.c.a.</i>

Fuente:Elaboración Propia

Tabla 5.9: Cavitación en anillos

$A$ (rango entre 0,040 - 0,090)	0,069	$s^2/m$
$Q$	1,050	$m^3/s$
$\sigma_{limite}$	1,400	<i>adim</i>
determinar diámetro mínimo tal que no cavite		
factor de sobrepresión a la salida	2	<i>adim</i>
pérdida 3° $h_u$ (corregida McElvain Cave)	0,315	<i>m.c.a.</i>
perdida TEE (corregida McElvain Cave)	1,088	<i>m.c.a.</i>
perdida long recto salida (corregida McElvain Cave)	0,315	<i>m.c.a.</i>
$H_s$ (ultimo anillo)	22,375	<i>m.c.a.</i>
$\phi_{limite}$	0,144	<i>m</i>
$\Delta h_s$ con $\phi_{limite}$	178,289	<i>mca</i>
$v_i$ con $\phi_{limite}$	64.82953232	<i>m/s</i>
$\sigma$	1.4000	
longitud extra descarga	180,607	<i>m</i>
num preliminar de anillos	10.5917	
determinar diámetro y $\Delta h_s$ dado número de anillos		
número de anillos	12	
$\Delta h_s$	157,366	<i>m.c.a.</i>
diámetro anillos	0,148	<i>m</i>

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 5.10:** Resultados Finales

Análisis de la primera etapa		
H s entrada U	1934,753	<i>m.c.a.</i>
H r P subida	0,494	<i>m.c.a.</i>
H r S subida	0,544	<i>m.c.a.</i>
H s salida subida	1933,715	<i>m.c.a.</i>
delta H s 1° anillo	157,366	<i>m.c.a.</i>
H s salida primer anillo	1776,349	<i>m.c.a.</i>
H r P h U	0,315	<i>m.c.a.</i>
H r P arco U	0,988	<i>m.c.a.</i>
H r S arco U	1,088	<i>m.c.a.</i>
H r P h U	0,315	<i>m.c.a.</i>
H s salida arco U + tr. Recto	1773,644	<i>m.c.a.</i>
delta H s 2° anillo	157,366	<i>m.c.a.</i>
H s salida segundo anillo	1616,278	<i>m.c.a.</i>
H r P h U	0.315	<i>m.c.a.</i>
H r S TEE	1.088	<i>m.c.a.</i>
H r P long recto salida U	0,315	<i>m.c.a.</i>
H s salida U	1614,560	<i>m.c.a.</i>
DELTA U	320,193	<i>m.c.a.</i>

Fuente:Elaboración Propia

**Tabla 5.11:** flanges, pernos y tipos de unión

T° operación:	entre -20 y 100 °F (100F = 37.77°C)
presión de trabajo:	2500 psi
se elige entonces clase	1500
Juntura	ring joint (RJ)
Tipo perno	A193 grado B7

Fuente:Elaboración Propia

## 5.9. Especificaciones Finales

Las especificaciones finales de la Estación Disipadora son las siguientes:

- Debe tener 6 etapas con 12 anillos en total (2 por cada etapa).
- Los diámetros interiores de los anillos deben ser de 148 *mm*, con un ángulo de apertura de al menos 60°, y de un material cerámico ad-hoc al desgaste por abrasión.
- Las dimensiones de cada etapa deben ser las listadas en la Tabla 5.7, que básicamente definen que los radios de curvatura y tramos rectos deben ser de 5 *m*.
- Debe poseer una válvula que permita en la entrada desviar la pulpa hacia una piscina, además de disponer de válvulas que permitan el desvío de la pulpa para efectos de mantenimiento.
- Las tuberías y uniones deben mantenerse dentro de los parámetros definidos por la norma ASME 32.11 o la que la reemplace.

# Comentarios

Si bien muchas de las relaciones utilizadas para el diseño de la estación disipadora se basan en manuales de piping y principalmente en conceptos clásicos de fluidodinámica (usando agua como fluido), es importante hacer notar que en ningún caso es trivial el hacer suposiciones de cómo representar al fluido y suponer que se asemeja en mayor o menor medida al comportamiento que tendría el agua (por ejemplo), ya que para la justificación de las mismas es necesario bastante experimentación, sobre todo porque la gran influencia en la naturaleza del líquido tiene que ver con el tamaño, la cantidad (concentración) y tipo de sólido para formar la solución (además de si la misma es homogénea, heterogénea, etc).

En este contexto, fue bastante engorroso y algo dificultoso encontrar información que respalde los supuestos aquí utilizados, básicamente porque la bibliografía y los desarrollos realizados pertenecen casi en su totalidad a empresas del rubro, como JRI por ejemplo, o bien las propias mineras, y en particular apenas existe un trabajo relacionado con mineroductos (que brevemente toca el tema de las estaciones disipadoras) en la biblioteca de la FCFM.

Sin embargo, cabe destacar que pese a ello, los modelos utilizados y los resultados obtenidos se condicen con lo que se observó en la visita, en el sentido que por ejemplo no se obtuvo que eran necesarios 100 anillos siendo que instalados en Tórtolas hay menos de 10, además que muchas de las indicaciones sobre valores "admisibles" como que el diámetro del anillo debe ser como mínimo del orden del 30% del de la tubería (según [5]).

Aún así, el autor considera necesario para realizar un análisis más profundo del tema, el uso de datos reales mas fidedignos como por ejemplo conocer las geometrías de los anillos ya instalados, la cantidad, materiales utilizados, vida útil de los mismos, y contrastar los resultados obtenidos de los modelos aquí presentados con valores históricos que la minera pueda tener dentro de las hojas de vida de los componentes, de manera de poder ajustar adecuadamente las constantes

---

necesarias, además de realizar una mejor consideración de los supuestos.

Respecto de la visita realizada durante el curso, en general ésta tuvo un carácter informativo e ilustrativo principalmente de manera cualitativa más que cuantitativa de los procesos y algunas de las máquinas involucradas en el procesamiento del concentrado de cobre y molibdeno de las Tórtolas.

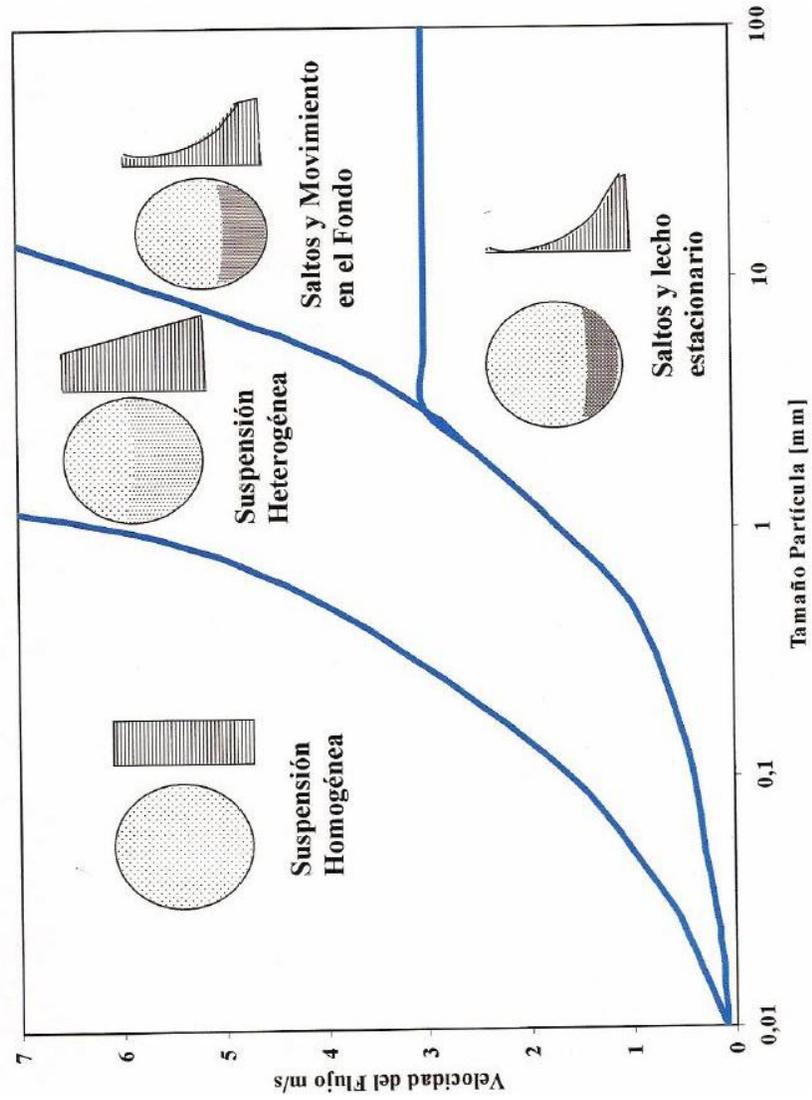
Se permitió que los visitantes conocieran las instalaciones de la planta, principalmente las unidades de flotación (circuitos Rougher y Scavenger), pasando también por los molinos y las salas de control, en donde fue bastante ilustrativo el poder conversar con los operadores a cargo, quienes entregaron algunos datos numéricos para poder dimensionar de manera global algunos de los indicadores que se utilizan en producción.

Desde el punto de vista de proceso, fue bastante productivo y enriquecedor; además la buena disposición de los expositores permitió un grato acercamiento teórico y cualitativo al funcionamiento de la planta.

Desde el punto de vista cuantitativo, fue algo pobre ya que los expositores al parecer no tenían preparada la presentación realizada pensando en (futuros) ingenieros sino que más bien pensada en un público bastante menos técnico.

Pese a todo, no queda más que agradecer la buena disposición de los anfitriones durante toda la visita.

## **Anexos**



**Fig. 7.1:** Regímenes de flujo en una tubería con pulpa, según [3] pág. 18

## Presión de saturación para el vapor de agua (mbar)

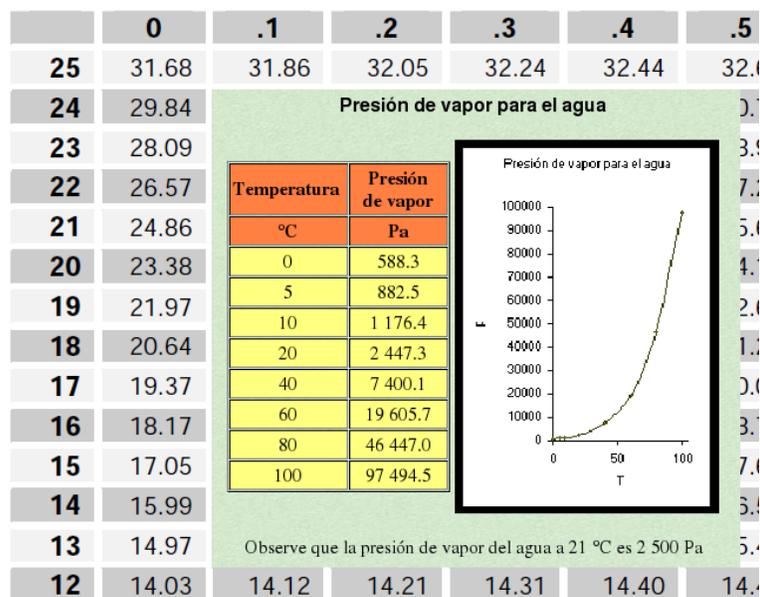


Fig. 7.2: Tabla de presión de vapor de agua

---

---

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Informe Consolidado de Evaluación Proyecto: "Desarrollo los Bronces" – Anglo American Sur LTDA, Consultado el 23 de Abril de 2010
- [2] "Procesos productivos División Los Bronces" – Anglo American Chile. Consultado el 23 de Abril de 2010.  
*[http : //www.anglochile.cl/es/operaciones/br\\_pprocesos.htm](http://www.anglochile.cl/es/operaciones/br_pprocesos.htm)*
- [3] Curso MI42C: Análisis de Sistemas Particulados, prof. Gianna Vallebuona, 2007-sem primavera  
*[https : //www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/MI42C/1/material\\_docente/objeto/151319](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/MI42C/1/material_docente/objeto/151319)*
- [4] ROBERT L. MOTT  
*Mecánica de Fluidos Aplicada, 4ta Edición, Editorial PEARSON,*
- [5] HOLGADO BLOCH, AGUSTÍN JULIO  
*Estudio de la operación y elaboración de normas operacionales para el mineroducto Los Pelambres Tesis (Ingeniero Civil de Minas) - Universidad de Chile, 1992.*
- [6] NPSH - Wikipedia, la enciclopedia libre.,  
*<http://es.wikipedia.org/wiki/NPSH>*