

APROVECHAMIENTOS HIDRAULICOS

UNIDAD 5

TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

El fenómeno de transitorios hidráulicos, está asociado a flujos no permanentes, son perturbaciones que ocurren en un fluido durante el cambio entre dos estados estacionarios.

Si todos los parámetros son constantes respecto al tiempo, entonces la central está en un estado estacionario o de equilibrio. Cualquier cambio en las condiciones de operación causará un transitorio que se atenuará en el tiempo hasta se alcance otro estado transitorio.

Un estado estacionario inicial es la referencia básica para el cálculo de transitorios. Habrá un rango posible de estados estacionarios iniciales en una planta en correspondencia con las condiciones de operación de las turbinas (salto y potencia) y características básicas de las turbinas (Velocidad, etc.).



TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Estos fenómenos vienen estudiándose desde la segunda década del siglo pasado, con las primeras teorías de explicación del fenómeno (“Teoría de la Columna Rígida del agua”), que evolucionaron posteriormente al “Método de la Columna Elástica del Agua” y su aplicación a Centrales Hidroeléctricas (Parmakian, 1955), y finalmente al Método de las Características (Wylie et al., 1990) convirtiéndose este último en el método de resolución más utilizado en la actualidad.

El método consiste en la resolución de ecuaciones en derivadas parciales en donde las variables dependientes son la presión y la velocidad que varían en función del tiempo y de la posición. Estas ecuaciones se combinan con las ecuaciones de continuidad y de equilibrio dinámico. La solución por este método consiste en transformar las ecuaciones en derivadas parciales en ecuaciones diferenciales totales para su resolución numérica.



TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Transitorios hidráulicos se presentan en las conducciones que alimentan el circuito de generación en las centrales hidroeléctricas por las variaciones de potencia que se requieren para la operación y despacho de la central, lo que origina que las condiciones de presión y velocidad del fluido varíen con el tiempo.

La variación de potencia puede ser abrupta (en casos de rechazo o toma de carga) o lenta (en casos de necesidad de regulación de potencia-frecuencia durante la operación).

TRANSITORIOS HIDRÁULICOS EN APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

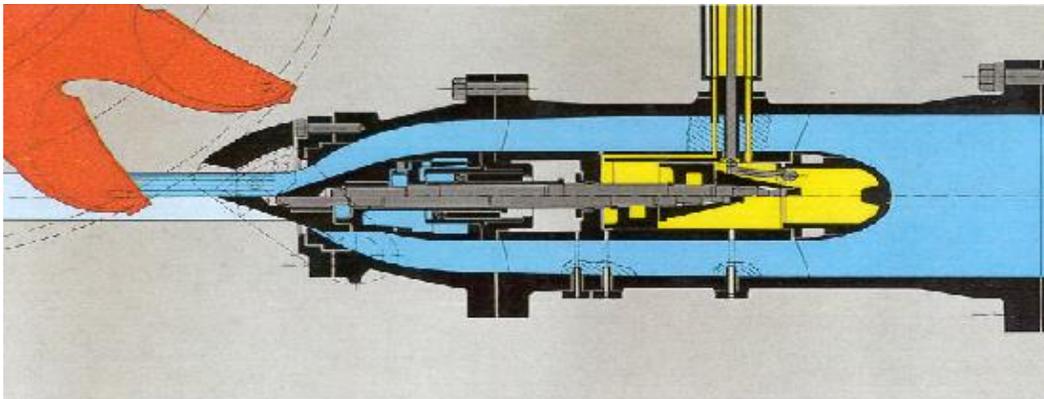
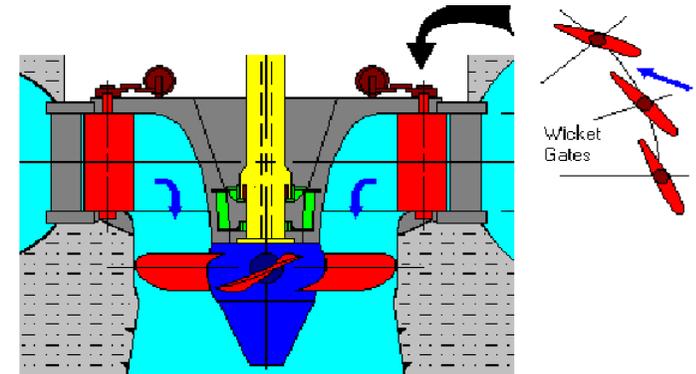
Regímenes transitorios en los aprovechamientos hidroeléctricos pueden ocurrir en situaciones normales (una toma de carga, variación de carga y parada de la turbina) o imprevistas (error humano, deficiencias de funcionamiento del equipamiento, corte de las líneas de transmisión, accidentes en el conducto hidráulico de admisión etc.)



En general en un aprovechamiento hidroeléctrico las perturbaciones originadas en un transitorio hidráulico se manifiestan por un cambio de presión originadas por propagación de ondas de presión a través del sistema hidráulico.

DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN DE FLUJO

Los álabes del distribuidor (en turbinas Francis, Kaplan, Diagonales o Bulbo) o válvulas tipo aguja (en turbinas Pelton) son los dispositivos primarios de regulación. Estos dispositivos son los responsables para cierres o aperturas rápidas o cambios pequeños de flujo.



La rapidez de cierre o apertura de los álabes del distribuidor son de fundamental importancia en el análisis de los condiciones transitorias.



TIEMPO DE CIERRE

Para evaluar la variabilidad en tiempo de cierre, deben ser realizados estudios transitorios verificando:

Máxima sobrepresión

Máxima sobre velocidad

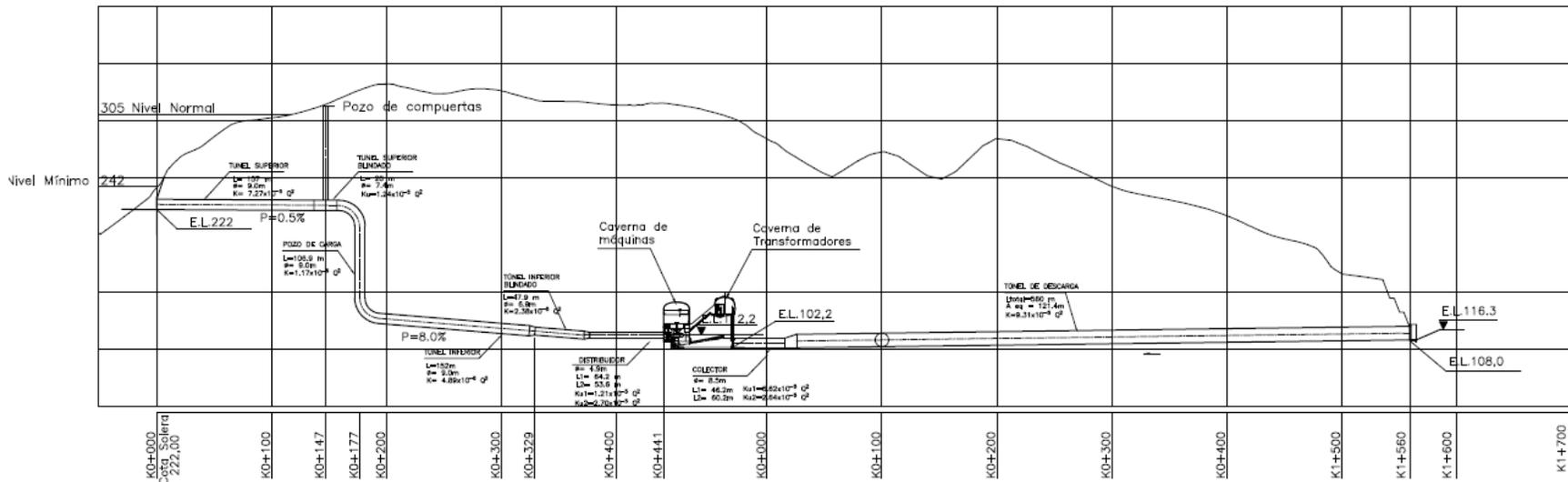
Si el cierre es muy rápido, el incremento de presión puede ser excesivo para el sistema, si por el contrario es muy corto, las partes rotantes pueden alcanzar altas velocidades inaceptables para las condiciones de diseño de las mismas.

Si la sobre velocidad del generador no fuera una limitación, entonces el regulador puede cerrar el flujo muy lento, gastando una gran cantidad de agua pero causando presiones transitorias menores.

SOBREPRESION

Si consideramos un sistema de tuberías como el de la figura, en el cual el flujo esta fluyendo con una velocidad v_0 y la presión inicial aguas arriba del distribuidor es p_0 (régimen estacionario), cualquier variación en la apertura de la válvula (cierre) origina un cambio de velocidad de v_0 a $(v_0 - \Delta v)$ y la presión aguas arriba se incrementa a $(p_0 + \Delta p)$.

La onda de presión de magnitud Δp viaja en la dirección de aguas arriba.





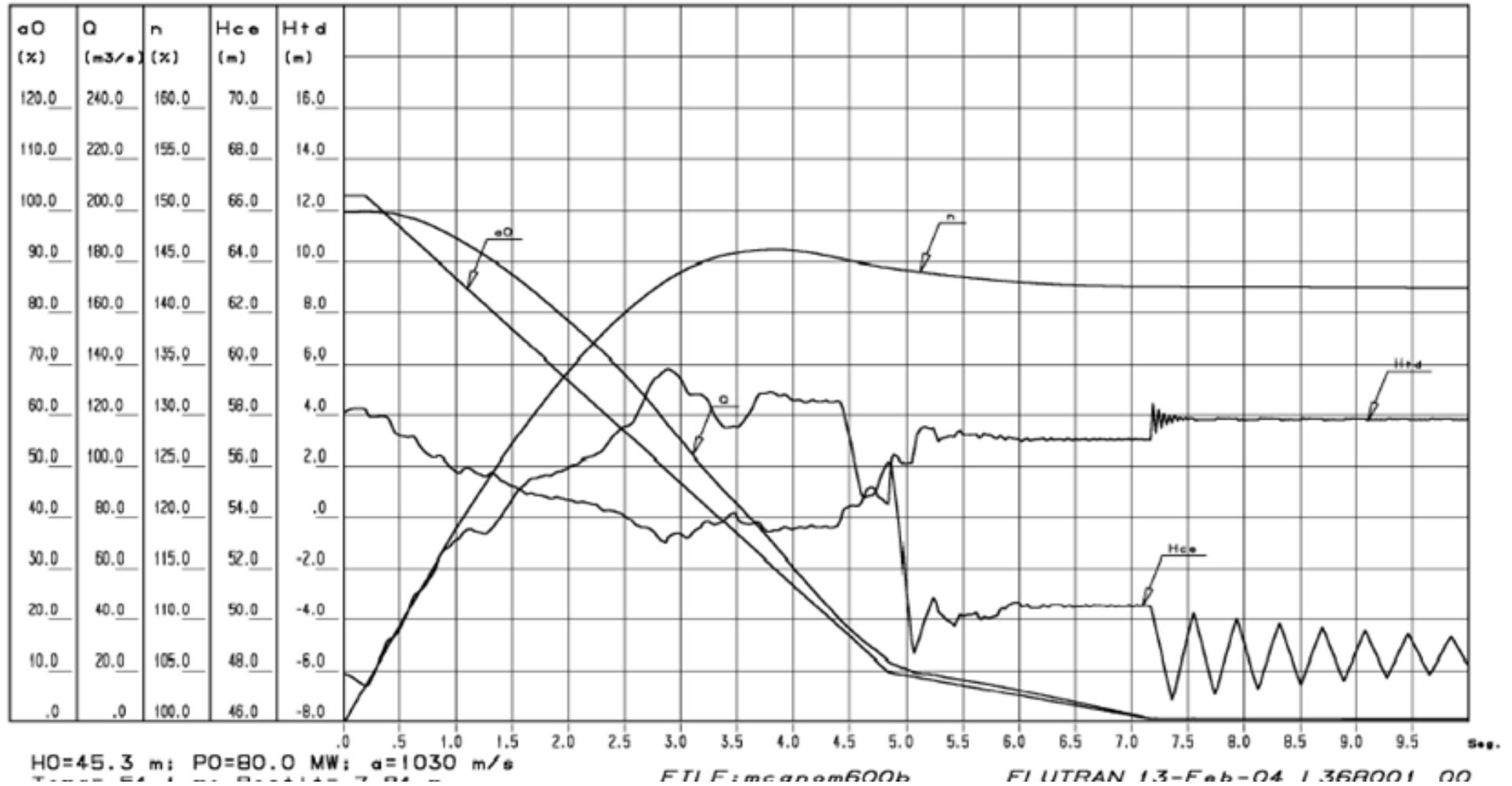
SOBREVELOCIDAD

Ante un imprevisto las unidades pueden ser desconectadas del sistema con lo que el generador no tiene par resistente y comienza a acelerarse. Mientras el flujo es interrumpido por el distribuidor, a los fines de mantener la unidad dentro de límites permisibles de velocidad, es necesario que el grupo turbina generador cuente con una cierta inercia. Como la inercia de la turbina es pequeña comparada con la inercia del generador generalmente esta última es la de principal atención.

Sin embargo, es conveniente mantener tan pequeña como sea posible la inercia del generador mientras se mantengan aceptables las características de regulación a los fines de no incrementar no solo los costos en el generador sino de otros costos asociados como el incremento en la capacidad del puente grúa o el incremento de las dimensiones de la casa de máquinas.



RECHAZO DE CARGA



RECHAZO TOTAL DE CARGA

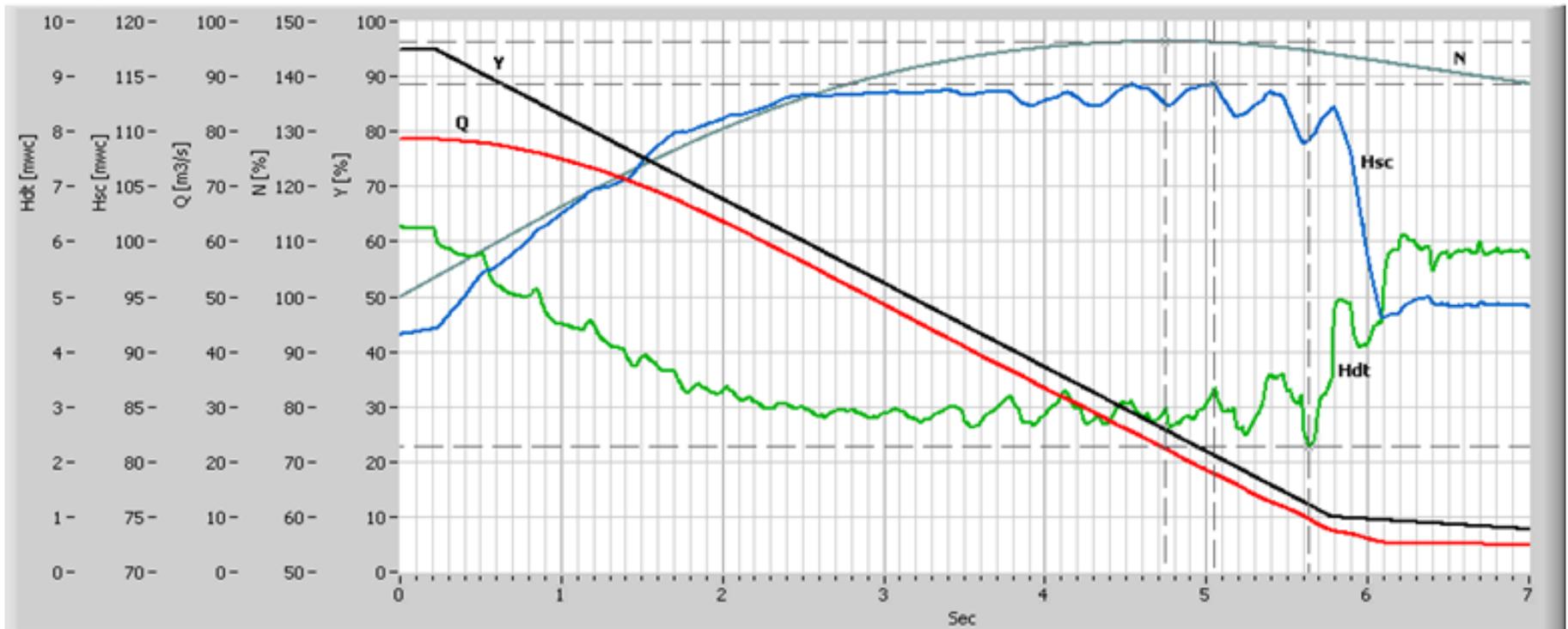
Load Rejection, Power: 62.5 MW

HWL 170.0 [masl] TWL 80.9 [masl] Hr0 86.8 [mwc] Q0 78.6 [m3/s]

FILE: limb2nom.prn

Reference Hsc: 76.5 masl

Reference Hdt: 75.0 masl



Sec	Plot	Variable	Time [sec]	Value
4.7	Plot 0	Y (%)	4.7	146.3
5.0	Plot 1	Q (m3/s)	5.0	114.3
5.6	Plot 3	Hdt (mwc)	5.6	2.3

CONDICIONES DE DISEÑO



Los transitorios hidráulicos deben ser cuidadosamente analizados para determinar las mas severas condiciones de operación. Los diseñadores del conducto y las máquinas deben ser capaces de proveer un sistema seguro para cubrir todas las condiciones.

Las presiones transitorias deben ser tenidas en cuenta para posibilitar el dimensionamiento estructural de los conductos. Si la sobrepresion transitoria excede la de diseño puede destruir componentes del sistema como tuberías, túneles, válvulas, etc. El daño puede no ser evidente inmediatamente pero si aparecer luego de transitorios repetitivos.

El diseñador debe tener en cuenta condiciones de operación extremas en el reservorio (durante crecidas o periodos de riego) y condiciones de restitución (numero de maquinas, etc) además perdidas de carga.



CONDICIONES DE DISEÑO

El proyectista debe tener en cuenta y cuidado que la adición o eliminación de una chimenea de equilibrio, la variación del diámetro de los conductos o redimensionamiento del layout de la conducción cambiara la frecuencia natural del sistema, Si la frecuencia natural es cercana a la frecuencia de las ondas de presión la perturbación puede ser la posibilidad de resonancia puede ocurrir.

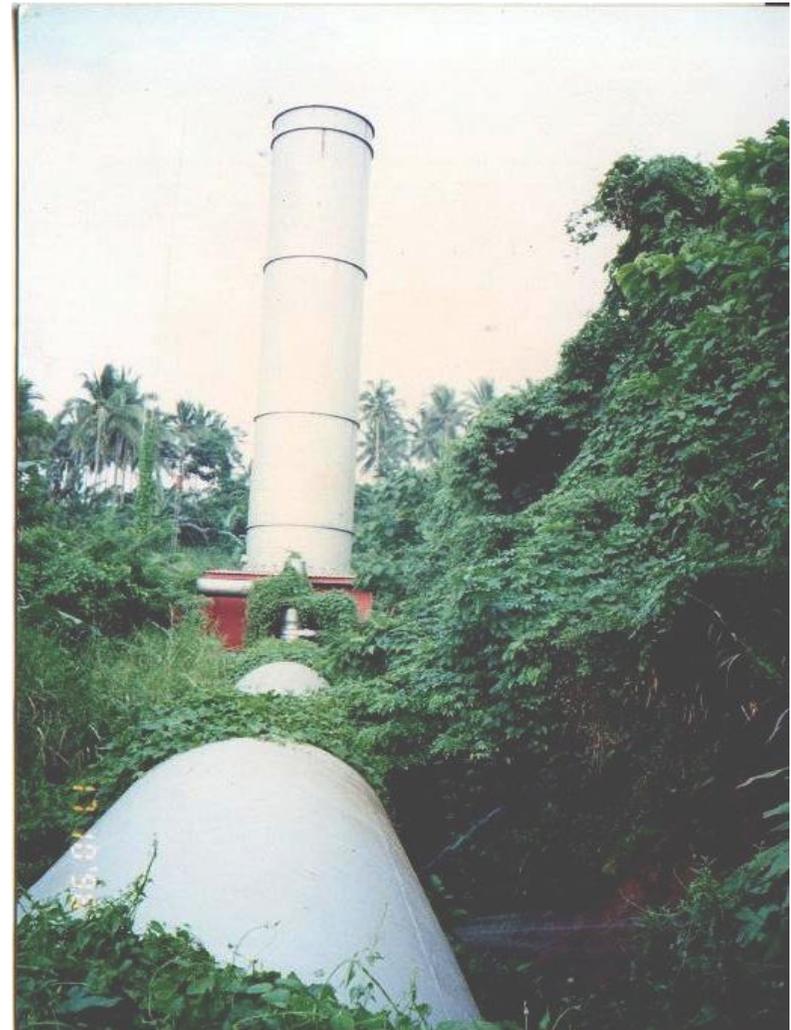
El diseño para controlar transitorios debe por lo tanto:

- ✓ Asegurar el margen de seguridad de la planta y el personal durante cualquier condición transitoria.
- ✓ Identificar las condiciones mas adversas y tomar medidas adecuadas para asegurar que los parámetros transitorios se mantengan dentro de las variables de diseño.
- ✓ Establecer limites adecuados para incremento de sobrepresión y sobrevelocidad.

PROTECCIONES

Como acciones básicas para control de incrementos de presión se mencionan:

- ✓ Incrementar la magnitud de los conductos.
- ✓ Incorporar una chimenea de equilibrio.
- ✓ Regular la tasa de incremento de apertura o cierre de las válvulas o distribuidor.



PROTECCIONES

- ✓ Disminuir la aceleración de la unidad por incremento del momento de inercia de las partes rotantes, principalmente del generador a los fines de incrementar el tiempo de cierre.
- ✓ Adicionar o sustraer cantidad de agua proveyendo válvulas reguladoras o válvulas.

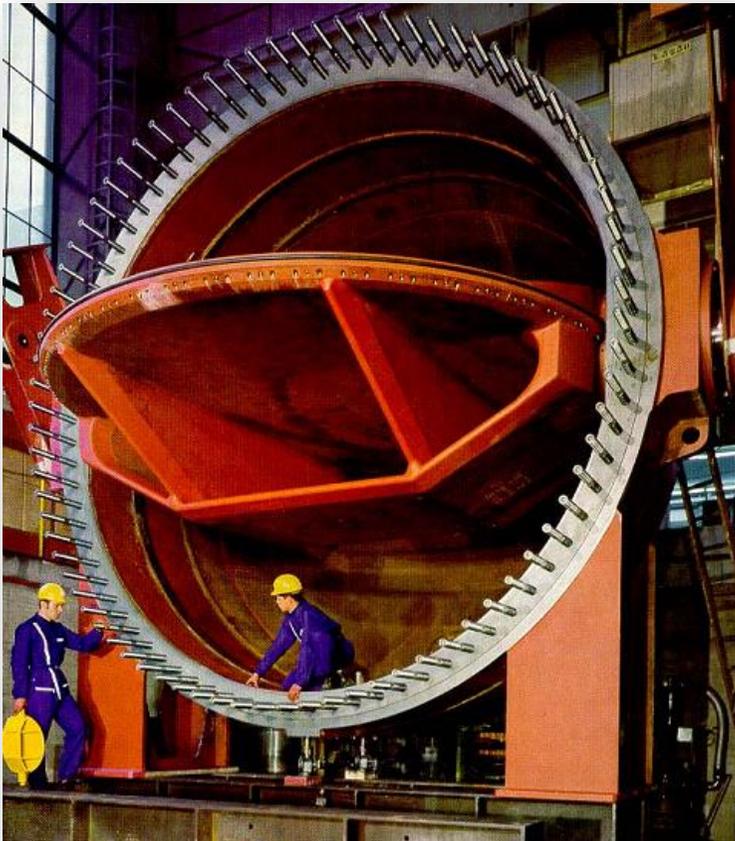
La mejor solución puede ser una combinación de alternativas, pero debe tenerse en cuenta que las variaciones efectuadas (chimenea de equilibrio, la variación del diámetro de los conductos o re-dimensionamiento de la conducción) pueden cambiar la frecuencia natural del sistema por lo que deben reestudiarse posibles efectos de resonancia.



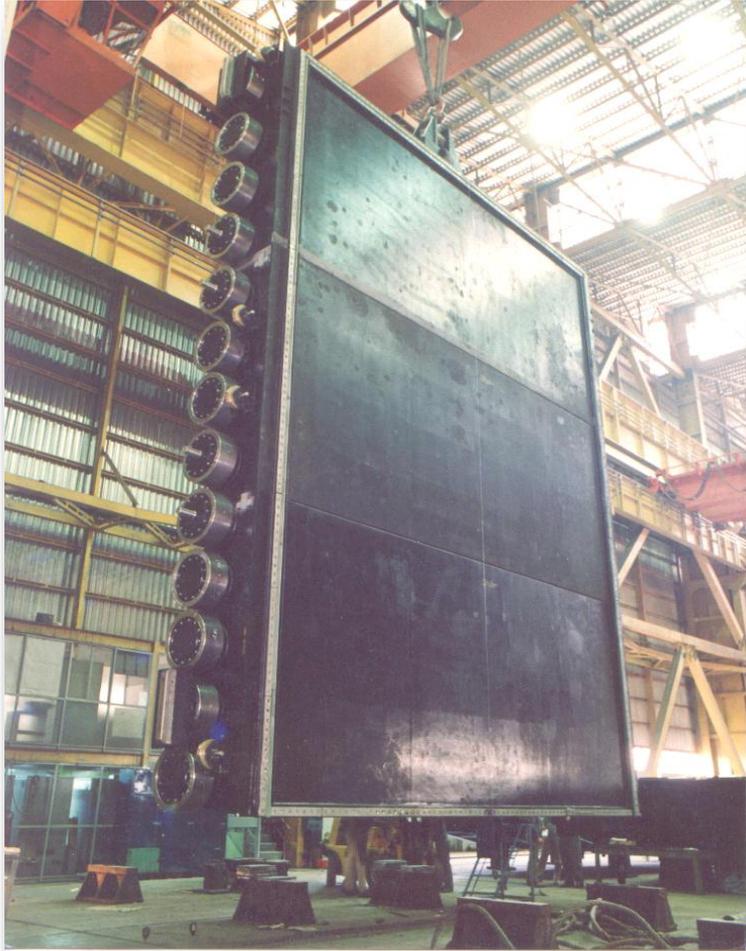
DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN DE FLUJO

- ✓ Si el dispositivo de regulación de flujo falla, entonces aguas abajo o aguas arriba deben habilitarse órganos de resguardo para cerrar el flujo con el fin de prevenir a la planta de eventuales daños y pérdidas de agua. Esas válvulas pueden ser válvulas de resguardo de turbina (localizada en la adyacencia de la turbina) válvulas de tubería (localizada en la parte superior de la tubería forzada), válvulas o compuertas de toma (ubicadas cerca del reservorio) o compuertas de tubo difusor.
- ✓ El análisis de las condiciones transitorias deben incluir (además del análisis de los órganos principales de regulación) como operarán estos organismos de seguridad en todas las circunstancias especialmente durante el cierre.

ÓRGANOS DE SEGURIDAD - MANTENIMIENTO



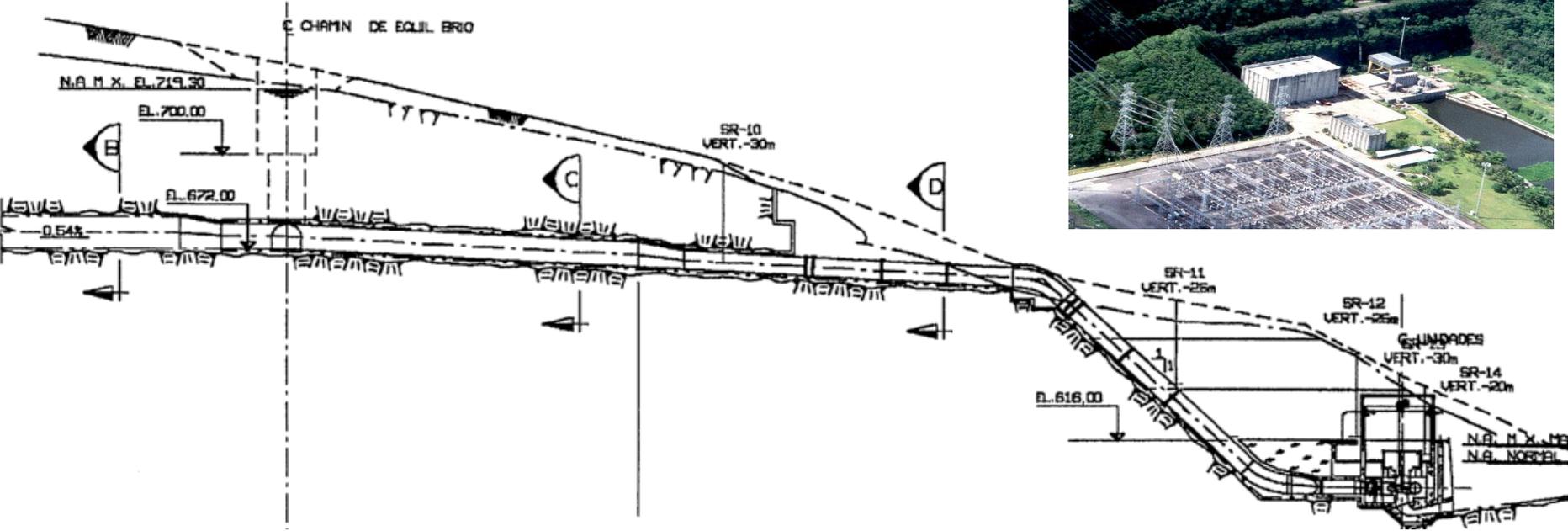
ÓRGANOS DE SEGURIDAD - MANTENIMIENTO



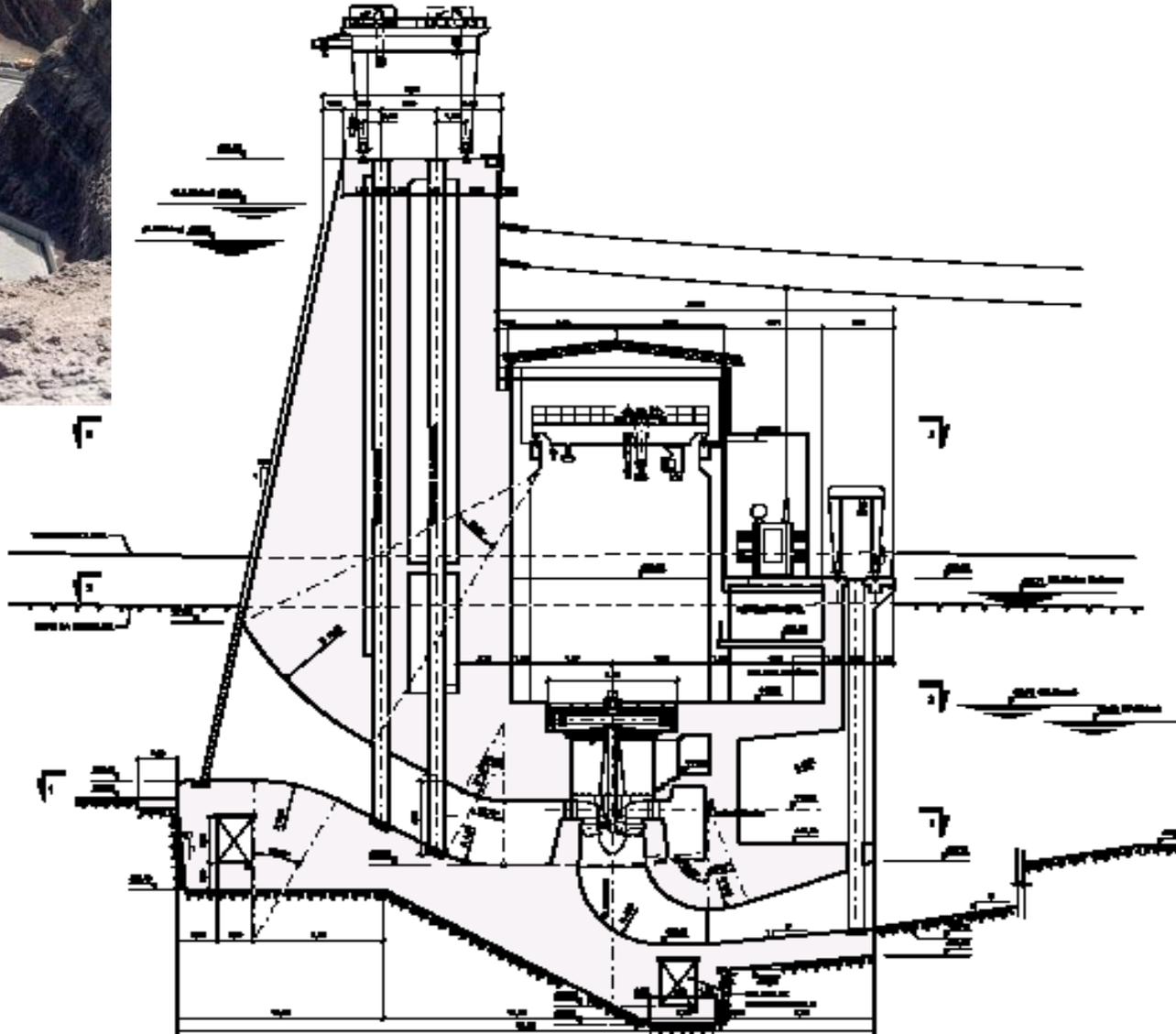
ÓRGANOS DE SEGURIDAD - MANTENIMIENTO



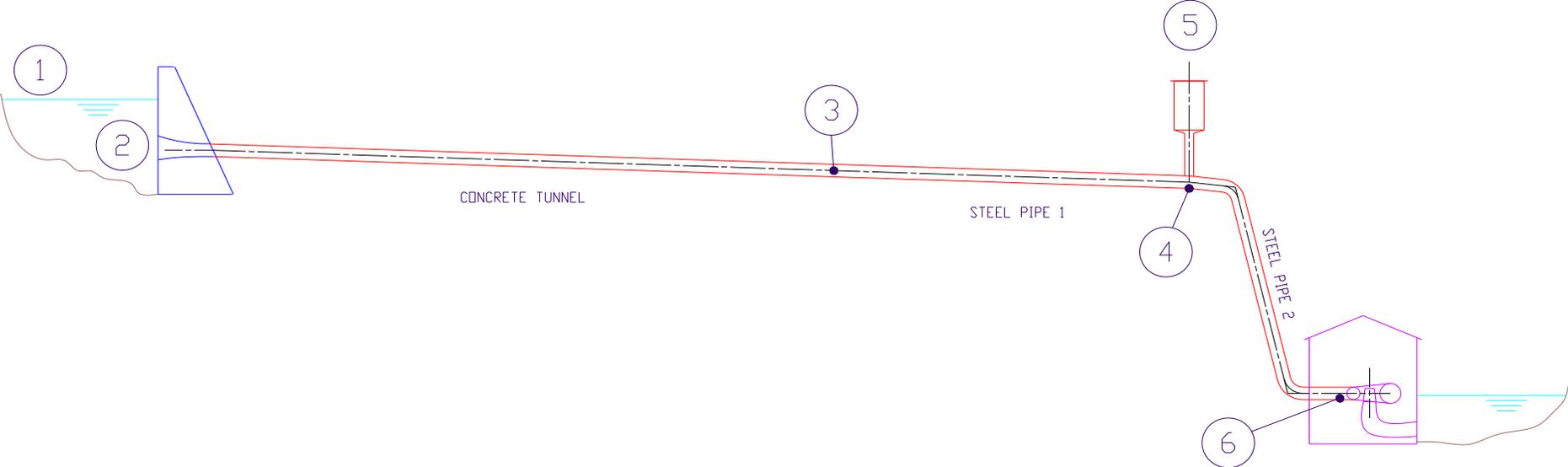
CONDUCCION CON CHIMENEA



CONDUCCION A PIE DE PRESA

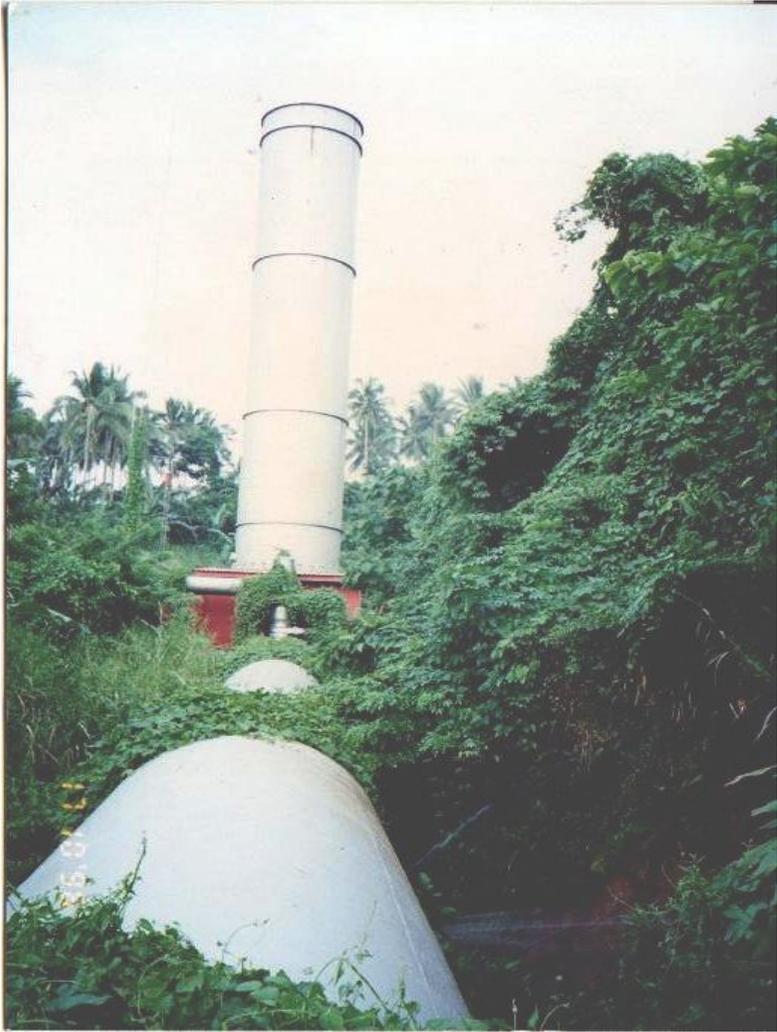
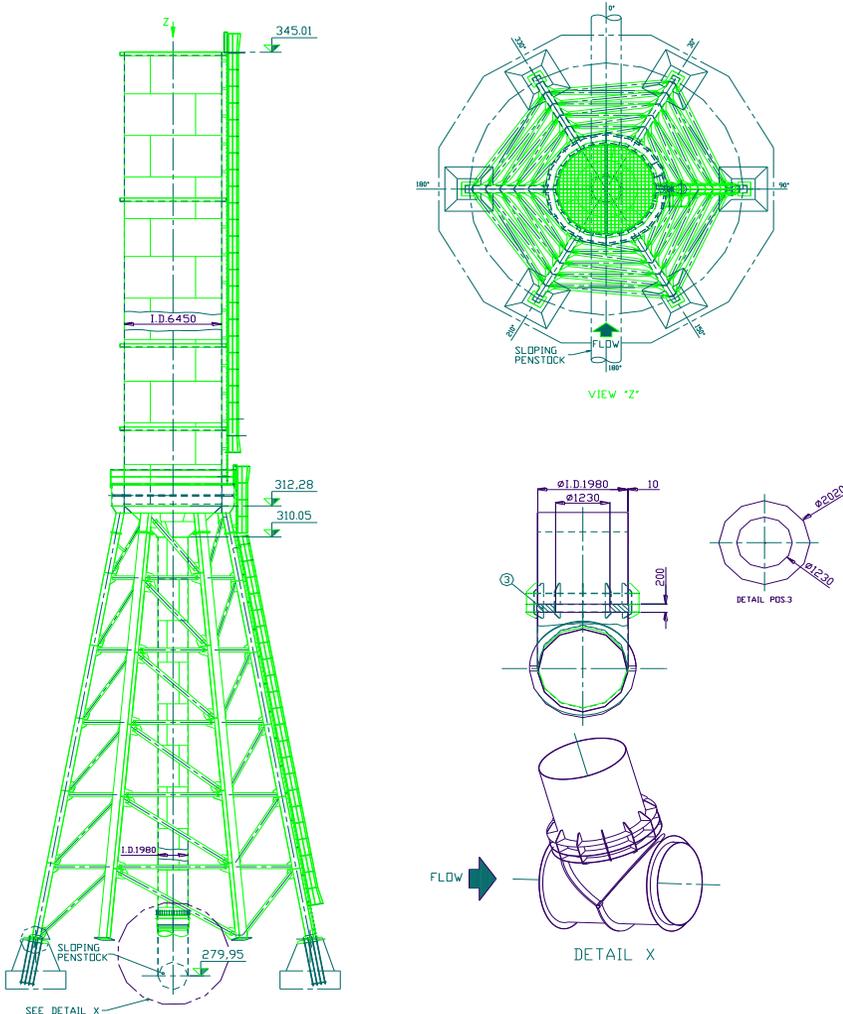


CONDUCCION CON CHIMENEA



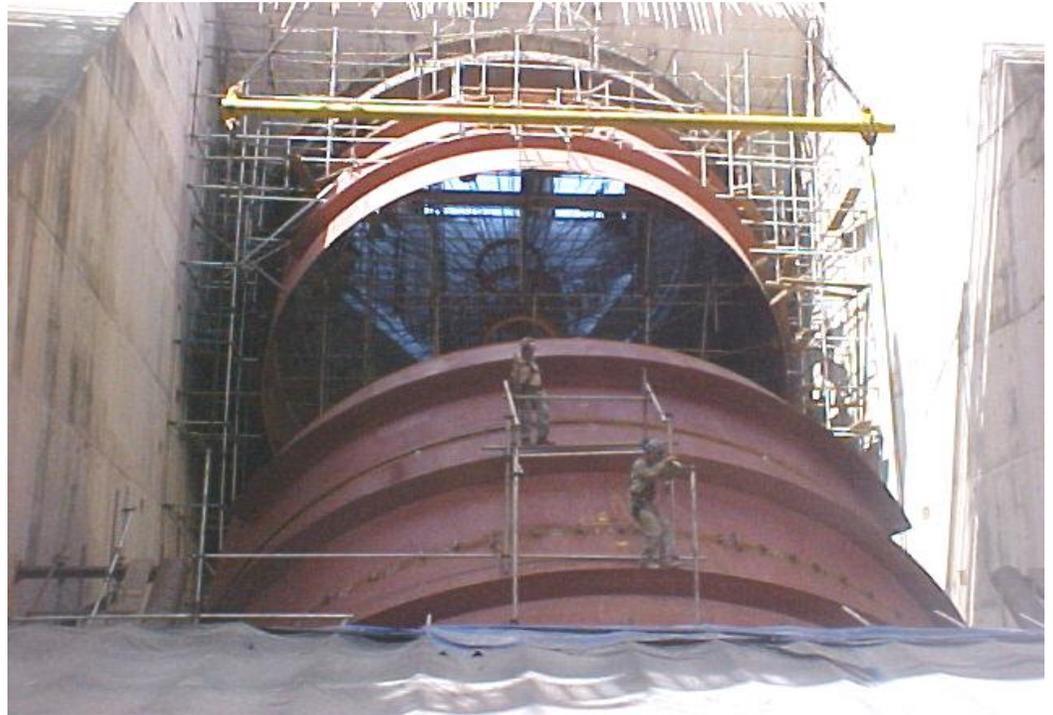
CONDUCCION CON CHIMENEA

Botocan Surge Tank



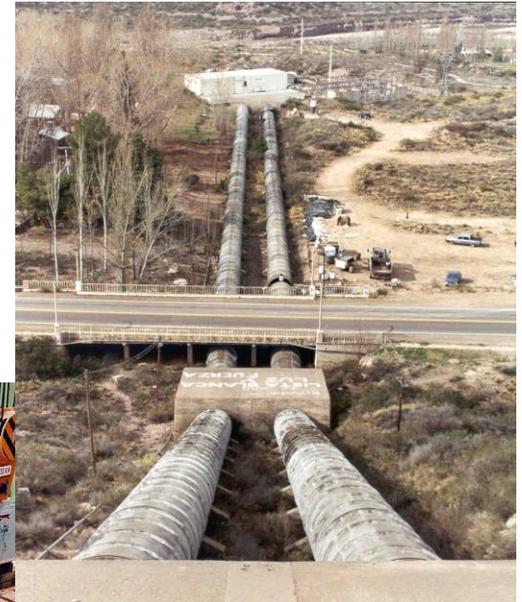
CONCEPTO DE GOLPE DE ARIETE

SOBREPRESION
CELERIDAD



REQUERIMIENTOS DE OFERTA

- SOBREPRESION
- SOBREVELOCIDAD
- GD^2



Nodos

Node Designation for FLUTRAN simulation

