

Diseño de una chimenea de equilibrio inclinada en el aprovechamiento hidroeléctrico del río Cenza (Orense)

ÁLVARO GARCÍA HERNÁNDEZ (*) y DANIEL CASTRO FRESNO (*)

RESUMEN Las chimeneas de equilibrio son uno de los elementos que más encarecen los saltos hidroeléctricos, son difíciles de construir y si son aéreas causan un gran impacto ambiental. En este artículo se describen las ventajas de las chimeneas inclinadas frente a otras tipologías si existe topografía adecuada. También se describe el diseño de una chimenea de equilibrio inclinada construida mediante tubería de poliéster reforzado con fibra de vidrio. Por último se muestra un estudio comparativo de precios entre los materiales adecuados para construir esta chimenea.

DESIGN OF AN INCLINED SURGE TANK IN THE HYDROELECTRIC USE OF THE RIVER CENZA (ORENSE, SPAIN)

ABSTRACT *The surge tanks are one of the elements which more increase the costs of the hydropower plants, they are difficult to construct and if aerial, then cause a great environmental impact. In this paper the advantages of an inclined surge tank are described in contrast to other typologies if an adequate topography exists. The design of an inclined surge tank is also described, built with reinforced polyester with fiber glass. Finally, a comparative study between the prices of the different materials appropriate to this kind of surge tank is shown.*

Palabras clave: Salto hidroeléctrico, Chimenea inclinada, Cámara de expansión, Cámara de alimentación, Obturación.

1. ANTECEDENTES Y ESTUDIOS PREVIOS

El aprovechamiento hidroeléctrico del río Cenza fue concedido por el Ministerio de Obras Públicas a Saltos del Sil, S.A. el 11 de Marzo de 1955. El 15 de marzo de 1960 se presentó este proyecto.

Se encuentra situado en el término de Villarino de Conso, en la provincia de Orense, al noroeste de la Península Ibérica.

El río Cenza pertenece al conjunto del sistema Sil, integrado por numerosos ríos y afluentes con un gran aprovechamiento hidroeléctrico. El Cenza confluye con el río Conso, afluente del río Bibey y este a su vez del Sil.

El entorno en el que se ubica la actual central hidroeléctrica de Soutelo, se caracteriza por su carácter montañoso y por la proximidad a diversos embalses como el de Bao, cuya cola llega hasta las proximidades de la central. El embalse del Cenza situado a una mayor altitud hacia el noroeste de la central y que pertenece al esquema hidroeléctrico de esta central y al embalse de las Portas situado al suroeste de ella. Sus características son las que se muestran en la tabla 1.

En base a los antecedentes expuestos se plantea otro tipo de aprovechamiento hidroeléctrico del Cenza. Como en el uso actual este río se aprovechan al máximo sus recursos

naturales, ya que se hace un bombeo desde media altura para recoger las aportaciones naturales de la cuenca intermedia, se pretende mejorar el uso del embalse superior aumentando el volumen de bombeo y de turbinación con una nueva instalación. Se aprovechará la posición relativamente próxima de los embalses del Cenza y de Bao, y su importante diferencia de nivel, para disponer una central hidroeléctrica, cercana a la actual central de Soutelo. Con la situación del nuevo aprovechamiento se podrá bombear no sólo desde Las Portas (que en la actualidad está en funcionamiento, con el proyecto Camba-Conso) sino también desde Bao, con lo que la capacidad de bombeo se incrementará considerablemente al tiempo que también se incrementa el posible consumo en turbinación. Debido a esto, la chimenea de equilibrio actual se queda pequeña, siendo necesario ampliarla.

2. CÁLCULO DE LA NUEVA CHIMENEA DE EQUILIBRIO

La tubería forzada de este salto hidroeléctrico ha sido diseñada de tal modo que los efectos del golpe de ariete sean despreciables en el entronque con la galería en presión y máximos en la válvula, con lo que la chimenea de equilibrio funcionará como un amortiguador hidráulico, controlando los efectos de la oscilación en masa del agua.

El cálculo hidráulico de la chimenea de equilibrio se realiza mediante el conocimiento de las oscilaciones de agua en la misma. Estas son las que limitan sus dimensiones. Para el cálculo de las oscilaciones, se procedió numéricamente por diferencias finitas.

(*) Grupo de Investigación de Tecnología de la Construcción. Universidad de Cantabria.

CARACTERÍSTICAS DEL EMBALSE DEL CENZA		Nivel máximo de explotación	1341 m
		Nivel mínimo de explotación	1315 m
		Volumen total del embalse	43.36 m ³
		Volumen útil del embalse	38.73 m ³
		Aportación anual en año medio	54.18 m ³
CIRCUITO EN CARGA	Toma superior	Cota de solera	1310 m
		Distancia de la embocadura al eje del pozo	137.08 m
	Galería de presión	Longitud	4760.05 m
		Diámetro interior	3.6 m
	Chimenea de equilibrio actual	Tipo	aérea
		Altura de la chimenea desde cimentación	82.28 m
		Diámetro exterior	11 m
		Diámetro interior	10 m
		Volumen de excavación	73681 m ³
	Tubería forzada actual	Volumen de hormigón	2881 m ³
Longitud		2456.39 m	
Diámetro interior		Variable entre 3.25 y 2.4 m	
NUEVA CENTRAL DE SOTUELO		Turbinas Francis reversible	3 turbinas reversibles
		Características como turbina	
		Caudal máximo	23.3 m ³ /s x 3

TABLA 1. Características del salto hidroeléctrico.

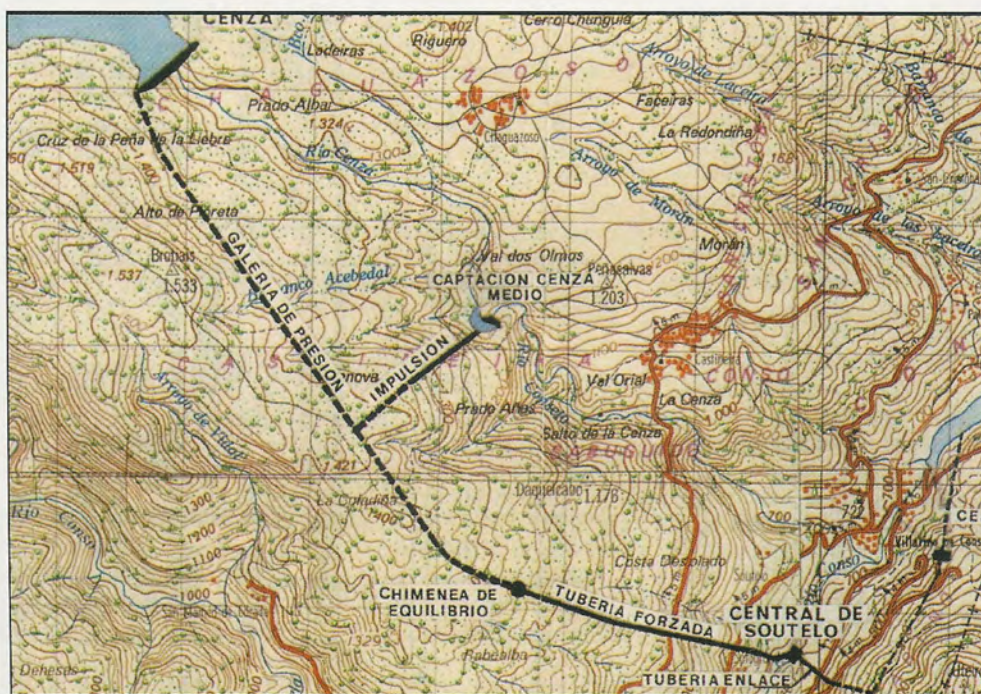


FIGURA 1. Esquema del salto hidroeléctrico.

Partiendo de las ecuaciones de equilibrio dinámico y continuidad, considerando que las pérdidas de carga son positivas cuando sube el nivel de agua en la chimenea y negativas cuando dicho nivel desciende y conociendo los coeficientes de pérdidas de carga en la galería de presión y el coeficiente de pérdidas en la obturación se puede deducir:

$$\Delta v_1 = \left(y_i + \frac{\Delta y}{2} \pm (-C_1) \cdot v_1^2 \pm (-C_2) \cdot v_2^2 \right) \cdot g \cdot \frac{\Delta t}{L}, \text{ donde:}$$

- Δv_1 = incremento de la velocidad en la conducción en incremento de tiempo Δt .
- L = longitud de la galería de presión
- Y_i = cota del agua en la chimenea de equilibrio en el instante i .
- Δy = incremento de la cota y en el mismo intervalo de tiempo.
- C_1 = coeficiente de pérdidas de carga en la galería de presión.
- C_2 = coeficiente de pérdidas en la obturación.
- v_1 = velocidad en la conducción, siendo $v_1 = Q_1 / S_1$, donde S_1 es la sección de la galería.
- v_2 = velocidad en la chimenea de equilibrio, siendo $v_2 = Q_2 / S_2$, donde S_2 es la sección de la chimenea de equilibrio.

Mediante esta ecuación en diferencias finitas se pueden estudiar todas las posibles alternativas de diseño.

Una vez planteadas las ecuaciones, se realizó un cálculo iterativo, en el cual el valor inicial supuesto de Δv_1 debe ser igual al valor final obtenido de $\Delta Q_1 / S_1$.

Los pasos dados en la iteración son:

1. Suponer un Δv_1 inicial.
2. Obtención del Q_1 a partir del Δv_1 supuesto.
3. Obtención de Q_2 mediante la ecuación de continuidad.
4. Obtención de $\Delta y = \frac{Q_2 \cdot \Delta t}{S_2}$
5. Obtención de Δv_1 final mediante la ecuación dinámica.

3. CASO PARTICULAR

El caso más desfavorable de las oscilaciones es el que se da al cerrarse bruscamente el paso máximo de 70 m³/s, en una chimenea recta sin estrangulamiento en el entronque con la galería de presión, es la que se observa en la figura 2, donde se muestran las oscilaciones del agua en la chimenea para diferentes radios de la misma.

Estas oscilaciones tan grandes podrían ocasionar una entrada de aire en la galería de presión. Por otra parte, esto conllevaría también una altura de la chimenea excesiva en el caso de la turbinación, con el consiguiente costo económico que eso conllevaría.

Como formas de evitar esto se plantearon las siguientes soluciones:

1. Dar a la chimenea de equilibrio una amplitud mayor para reducir la magnitud de oscilación. En este caso, tan sólo sería necesario plantear una anchura mayor de la parte baja de la chimenea.
2. Un aumento reducido de potencia (y caudal) elevando unos metros el nivel mínimo de explotación para aumentar la mínima cota de agua de la chimenea. Se limitaría el funcionamiento de los grupos a partir de un cierto nivel de seguridad.
3. Sobre la solución anterior, reducir la dimensión de la estrechición en el contacto de la galería de presión y la chimenea de equilibrio.
4. Añadir una segunda chimenea de equilibrio que cuente con una cierta cámara de expansión a niveles inferiores que mejore el funcionamiento del conjunto.

Es bien conocido que toda variación en el flujo que produzca una modificación de las líneas de corriente provoca una pérdida de energía en el mismo. De este modo, se conoce que una contracción en la base de la chimenea podría ser muy útil para reducir la amplitud de las oscilaciones, creando una pérdida de carga localizada en la base de la chimenea, cuya altura equivalente se suma al desnivel real existente. Este efecto multiplicador se puede conseguir con un estrangulamiento más o menos complejo situado en la conexión entre la chimenea y la galería que ocasione la pérdida de carga buscada.

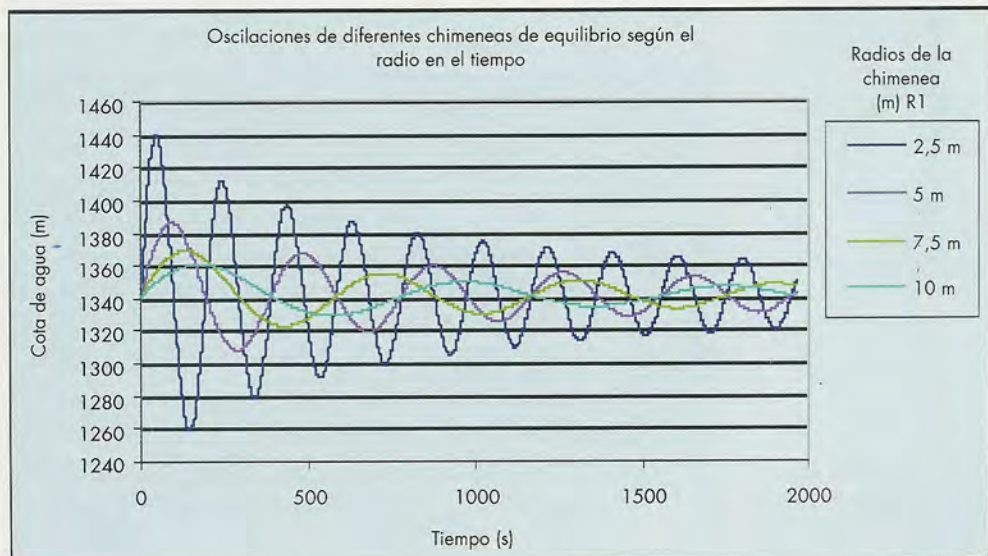


FIGURA 2. Cota de agua/tiempo.

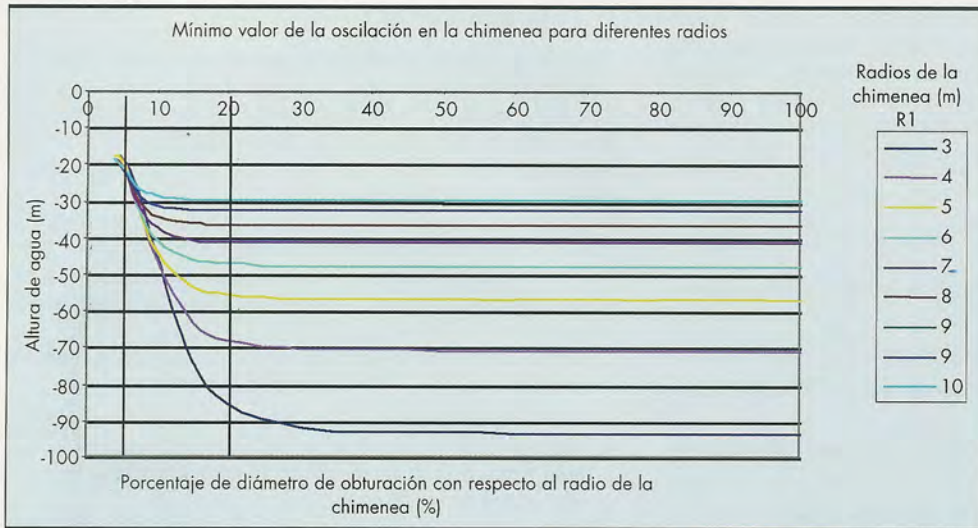


FIGURA 3. Altura de agua/ Porcentaje de diámetro de obturación con respecto al radio de la chimenea.

De la figura 3, donde se muestra la mínima cota que alcanza el agua en la chimenea para un caudal de $70 \text{ m}^3/\text{s}$, (al abrirse las válvulas) se obtiene la conclusión práctica de que el diámetro de obturación óptimo de la chimenea es de entre el 4 y el 6 % del valor del diámetro de la misma, pues de ser inferior esta se volvería inestable. Esta figura es simétrica en el eje de abscisas a la que se obtendría para la máxima cota que alcanza el agua al cerrarse las válvulas y pasar un caudal de $-70 \text{ m}^3/\text{s}$.

En cuanto a la reducción del nivel máximo por la obturación, en las figuras 3 y 4 se muestra cómo para valores de la obturación superiores al 20 % no tiene efecto práctico colocarla para reducir el nivel de agua máximo en la chimenea. De este modo, el factor limitante es el nivel mínimo de agua en la chimenea, y para él se dimensionará la obturación en la base de la misma (Ver figura 4).

Por otra parte, con respecto a la altura máxima de agua en la chimenea al abrirse las válvulas, en la figura 4 puede observarse cómo esta se ve limitada especialmente por el diámetro de la misma, más que por la obturación, aunque el efecto de esta es mayor cuanto menor es el diámetro. Para

las características del flujo que nos ocupa, para un diámetro superior a 20 m, la obturación no tiene apenas efecto.

Otro caso que se puede estudiar es aquel en que la chimenea de equilibrio tiene la base ensanchada.

Anteriormente se comentó cómo al aumentar el diámetro de la chimenea se reducía notablemente la amplitud de las oscilaciones. Por lo tanto, la solución más económica será aquella en que los diámetros mayores se coloquen en los lugares críticos, es decir, en la parte superior e inferior de la chimenea, o lo que es lo mismo, construyendo un pozo de sección mínima con cámaras en los extremos. (Ver figura 5). Esto es lo que habitualmente se denomina chimenea con cámaras; la inferior se denomina cámara de alimentación, ya que proporciona el volumen de agua solicitado por la turbina durante el arranque, y la superior cámara de expansión, puesto que recibe el caudal rechazado durante la parada.

De este modo, se ayudará a controlar el nivel máximo de las oscilaciones en la chimenea. Se han estudiado diferentes casos, representando con diferentes curvas la relación entre la cota máxima de agua y la altura de la cámara de alimen-

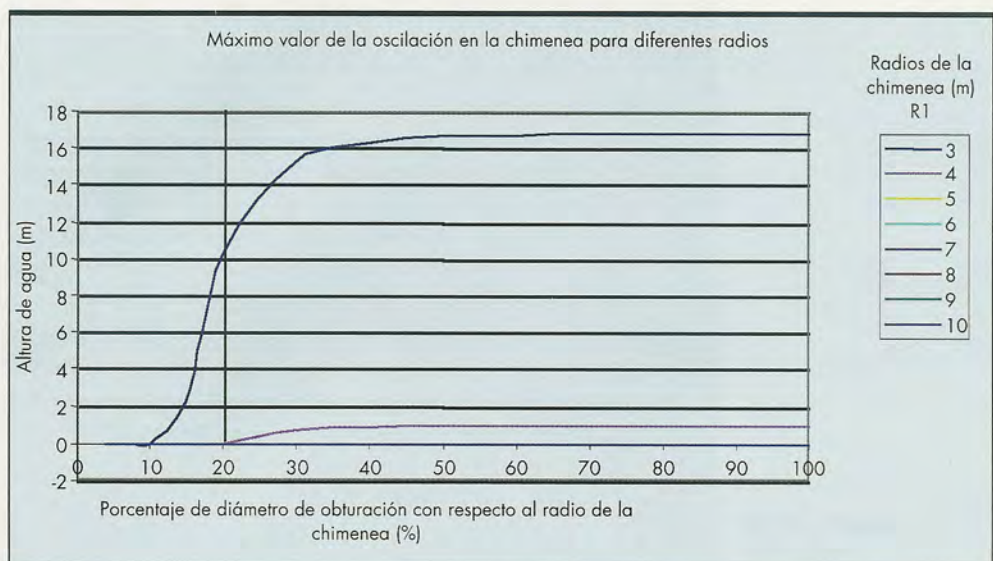


FIGURA 4. Altura de agua/ Porcentaje de diámetro de obturación con respecto al radio de la chimenea.

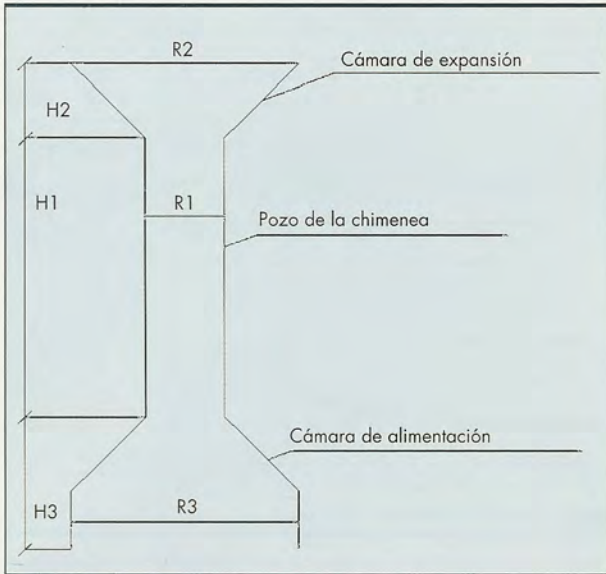


FIGURA 5. Esquema de la chimenea con cámaras.

tación con respecto a los diferentes radios de la base de la chimenea y siendo cada gráfico para diferentes radios del tronco de la misma (Ver figuras 6 y 7).

Así se llega a la conclusión de que para que el ensanchamiento de la base influya en la altura total de la chimenea, este debería ser de una magnitud tan grande que se convierte en inviable, con lo que se puede afirmar que no se debe utilizar para controlar las oscilaciones máximas de esta chimenea.

En cuanto al nivel mínimo de la misma, también se han estudiado diferentes casos, al igual que para el nivel máximo. De todos ellos (Ver figura 7) se observa que conforme aumenta el valor de la altura de la base de la chimenea, se reduce el valor mínimo que alcanzan las oscilaciones en esta hasta una cierta asíntota, que se encuentra a aproximadamente los cincuenta metros de altura de la base en todos los casos estudiados. Se observa también que la reducción de las oscilaciones es mayor conforme se aumenta el radio de la ampliación de la base. Estos cálculos se han hecho para el caso en que se abra bruscamente la entrada de agua, que es la situación más desfavorable.

En caso de que se quisiera reducir las oscilaciones del nivel máximo de la chimenea, se podría plantear la construcción de

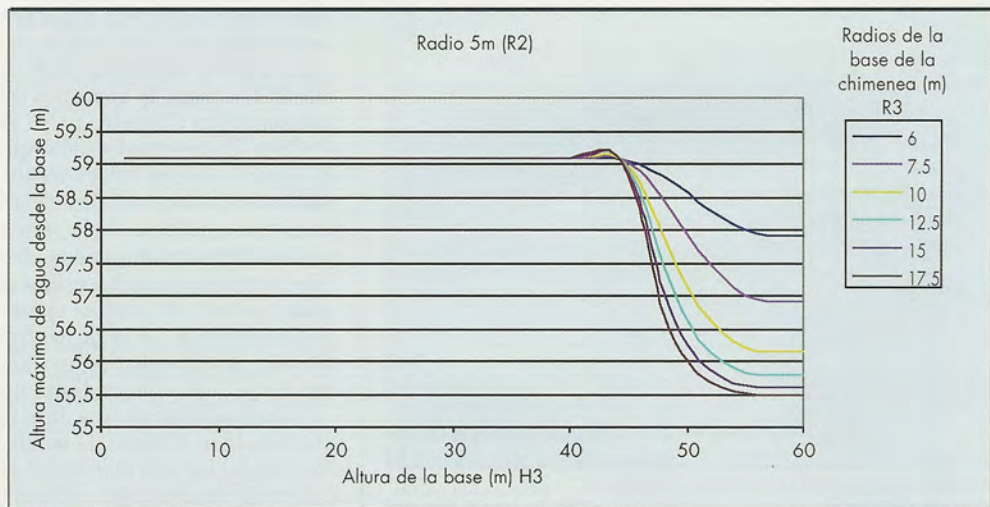


FIGURA 6. Altura máxima de agua/Altura de la cámara de alimentación.

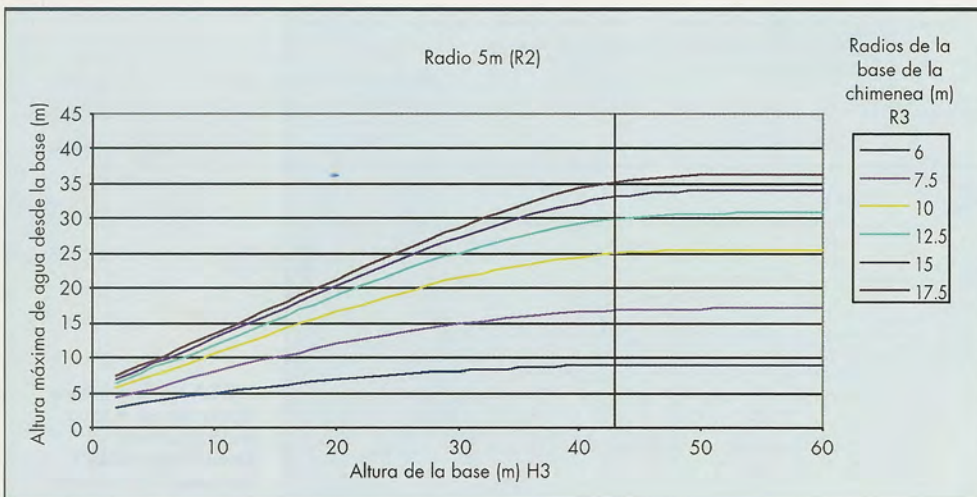


FIGURA 7. Altura mínima de agua/Altura de la cámara de expansión.

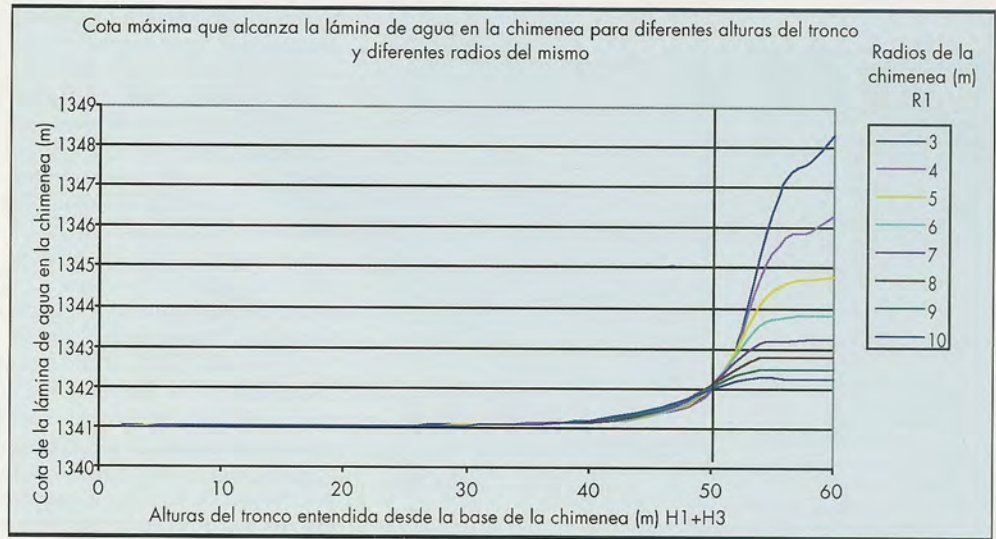


FIGURA 8. Cota mínima de agua/Altura de la cámara de alimentación.

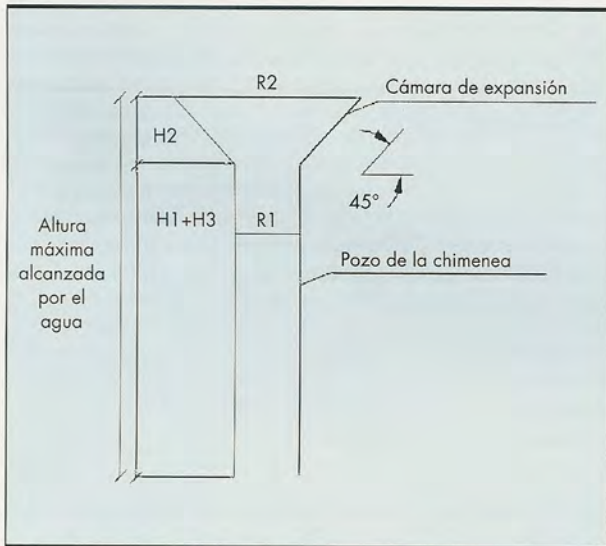


FIGURA 9. Esquema de la chimenea.

una cámara de expansión. Así, en la figura 8 puede observarse la cota máxima que alcanza el agua en la chimenea para diferentes alturas del pozo (considerándose este desde la base de la chimenea, olvidando la cámara de alimentación, que se ha demostrado que ya no influye en la máxima cota de agua alcanzada por la chimenea) y diferentes radios del mismo, suponiendo la cámara de expansión desde el final del pozo hasta la máxima altura alcanzada por el agua (Ver figura 9).

En la figura 8 puede verse que cuanto mayor es la altura del tronco, es decir, cuanto menor es la cámara de expansión, más altura alcanza el agua. Por esto, será muy conveniente hacer una ampliación en la parte superior de la chimenea.

Del mismo modo, puede observarse que la ampliación sólo merece la pena hacerla a partir de una cota determinada, que en este caso es aproximadamente de 50 m, independientemente del radio del tronco o del diámetro de la restricción. Estos cálculos se han hecho suponiendo que la pendiente de la cámara de expansión es de 45°.

Para aumentar el área de la base de la chimenea se podía plantear la inclinación de la misma, al menos en sus primeros tramos. De esta manera, si se siguiera la pendiente de la ladera, se disminuiría la altura de la torre. En la figura 10

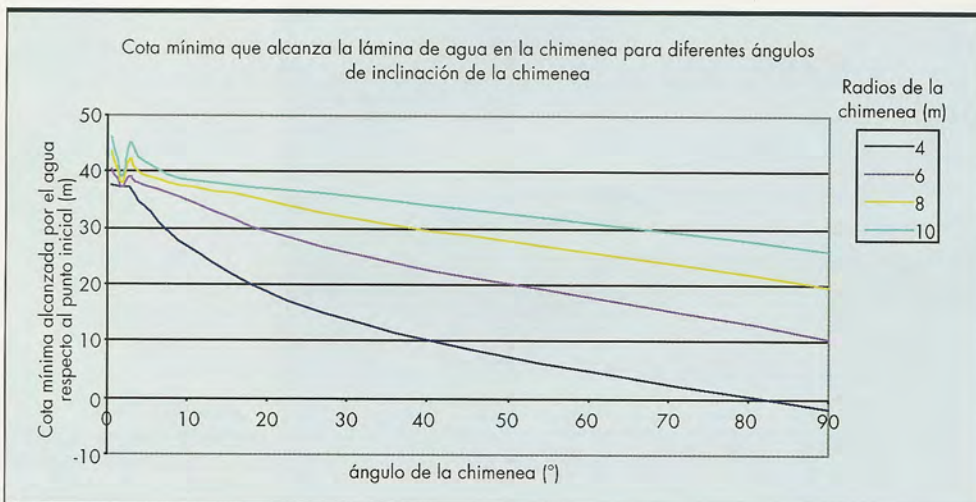


FIGURA 10. Cota mínima alcanzada por el agua respecto al punto inicial/Ángulo de la chimenea.

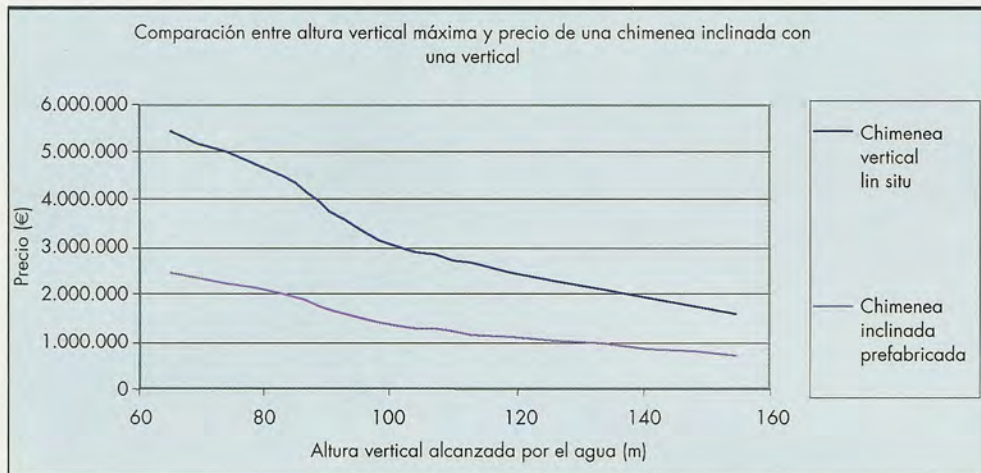


FIGURA 11. Precio (€)/Altura vertical alcanzada por el agua.

se muestra la cota mínima de agua alcanzada en la chimenea respecto al punto inicial, en función de la inclinación de la chimenea. Puede observarse cómo disminuye esta conforme se aumenta la inclinación.

De esto se concluyó que:

1. Cuanto más grande sea el radio de la chimenea menos amplitud de las oscilaciones.
2. El diámetro de estricción en la base debe ser como mínimo un 5% el radio del cuerpo de la chimenea.
3. La altura mínima que alcanza el agua en la chimenea nunca debe ser inferior a la cota de la galería de presión, porque si no, entraría aire en esta y podría haber problemas de cavitación.
4. Para reducir la altura de la chimenea será útil disponer de un ensanchamiento en esta que funcione como una cámara de expansión.
5. Es conveniente que la parte baja de la chimenea tenga un ensanchamiento que funcione como una cámara de alimentación. Así se reducirá el nivel mínimo de la chimenea sin tener que aumentar el radio de la misma.

Por todo esto, se propuso como solución óptima la construcción de una chimenea inclinada, siguiendo el trazado de la ladera. Con ello, se consigue aumentar la superficie de la

chimenea sin aumentar su radio, ahorrando material. Por otra parte, tiene la gran ventaja de que al seguir el trazado la pendiente de la ladera, el impacto visual y paisajístico se reduce notablemente. Además hay que tener en cuenta un hecho fundamental: el precio de la tubería al hacer la chimenea inclinada es bastante inferior al de una torre del mismo diámetro, como puede verse en la figura 11, donde se representa el precio de la chimenea inclinada con respecto a una vertical en la que el agua alcance la misma cota, suponiendo la inclinada con una pendiente constante del 7%. Por último, cabe destacar a favor de las chimeneas inclinadas su mayor facilidad constructiva con respecto a las chimeneas verticales: hacerla consistirá simplemente en un trazado de tuberías frente a las actuaciones que tradicionalmente se han venido haciendo para este tipo de obras cuando se dispone de la topografía adecuada.

4. ELECCION DEL MATERIAL

La idoneidad de un material para una aplicación viene dada por la facilidad de conformación y el precio. Los tipos de materiales que se pueden emplear para esta chimenea de equilibrio son básicamente tres: La fundición, el hormigón armado con camisa de chapa o el hormigón postensado y el poliéster reforzado con fibra de vidrio. Otros como el PVC

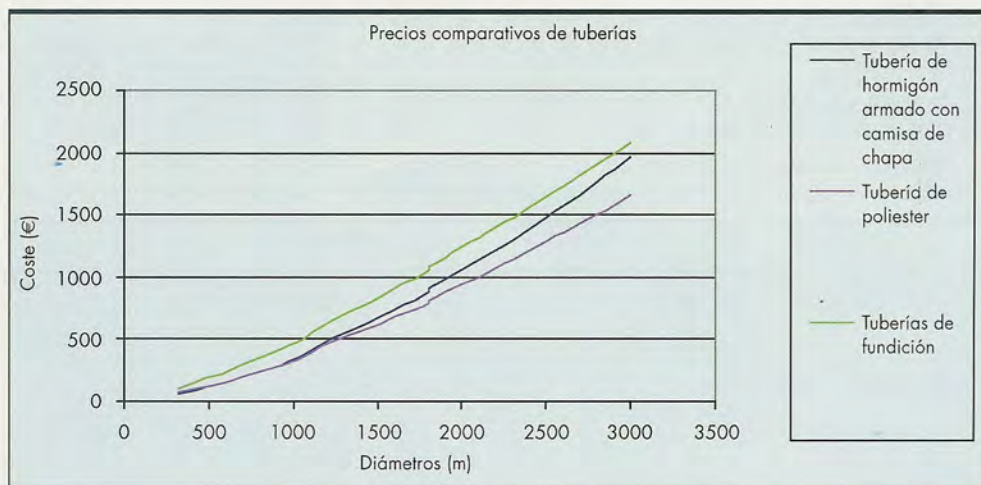


FIGURA 12. Euros (€) /diámetro de tubería (m).

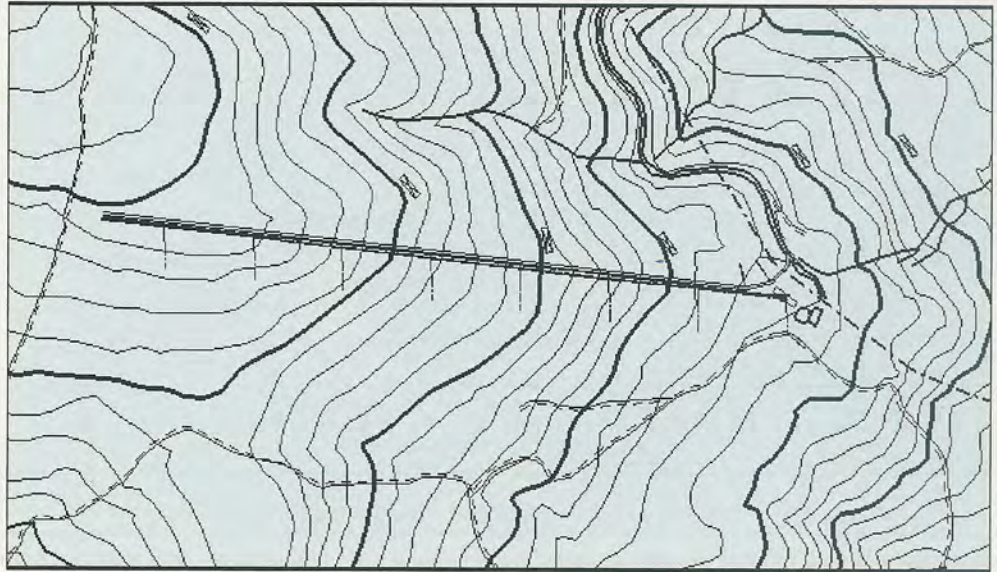


FIGURA 13. Planta del trazado de la chimenea.

quedan descartados en el rango de diámetros que se estudian.

En la figura 12 se muestra una comparación entre los precios de estas tuberías para diferentes diámetros por metro lineal en toda la obra ya instalada.

Si se comparan los precios, puede verse que resulta más económico colocar tuberías de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Por otra parte, es necesario señalar que las tuberías de PRFV son más flexibles que las de hormigón y acero, además, para la misma resistencia a la flexión, el espesor requerido para fibra de vidrio es prácticamente igual que el acero. Por lo tanto, esto es algo que conviene especialmente al problema, pues la tubería no estará sometida a tracción y sí a flexión en algunos tramos. Las dificultades que esto pudiera presentar se corrigen mediante una buena compactación del terreno.

5. CÁLCULO DE LAS LONGITUDES Y TRAMOS DE LAS TUBERÍAS DE LA CHIMENEA INCLINADA

Por lo que se ha explicado anteriormente, la sección elegida a la hora de construir una chimenea inclinada deberá ser aquella en que tanto la pendiente del inicio como la del final sean mínimas. (Ver figuras 13 y 14). Posteriormente habrá que clasificar la sección de la chimenea en tramos de diferentes pendientes.

La altura que alcanza el agua en la chimenea está definida por el caudal que entra en cada momento, por el nivel

inicial de agua en la chimenea, y por el diámetro de la tubería a partir de una cierta cota.

Una característica básica de esta obra hidráulica es que sigue la inclinación de la pendiente. Esto hace que con un mismo diámetro se consiga más área de circulación de agua, pudiendo lograr así un ahorro mayor de material. Por supuesto, hay que tener en cuenta que no se pueden reducir infinitamente los diámetros de la chimenea pues se vuelve inestable y las oscilaciones no se detendrían.

5.1 ALTURA MÁXIMA DE AGUA EN LA CHIMENEA. TRAMOS SUPERIORES

En primer lugar debe calcularse el diámetro de tubería correspondiente al tramo superior, intentando que este sea mínimo. Sin embargo, no podrá ser todo lo pequeño que se quiera, pues de esta manera sólo se conseguiría que la chimenea se volviera inestable. Por lo tanto, es necesario calcular las características de las oscilaciones para diferentes alturas de agua.

Para ello, en la figura 15 se muestran, en los casos en que el embalse se encuentre en los niveles máximo (1341 m) y mínimo (1315 m) de explotación, las máximas alturas que alcanza el agua en la chimenea para diferentes radios de tubería.

Así, en esta figura, puede verse cómo la chimenea se vuelve inestable si el radio de la misma es demasiado pequeño: la altura máxima de agua sube para volver a bajar de nuevo, sin mantener un patrón definido.

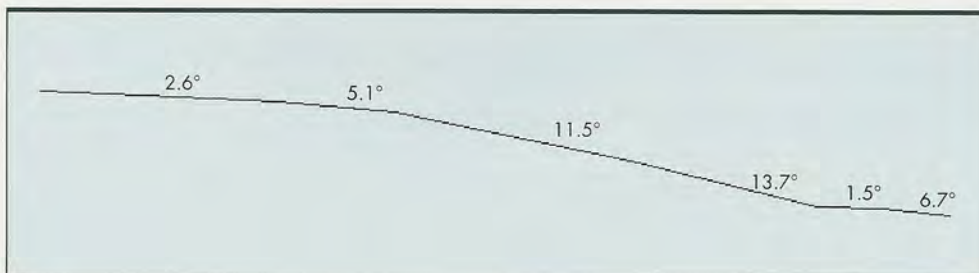


FIGURA 14. Alzado con pendientes del trazado de la chimenea.

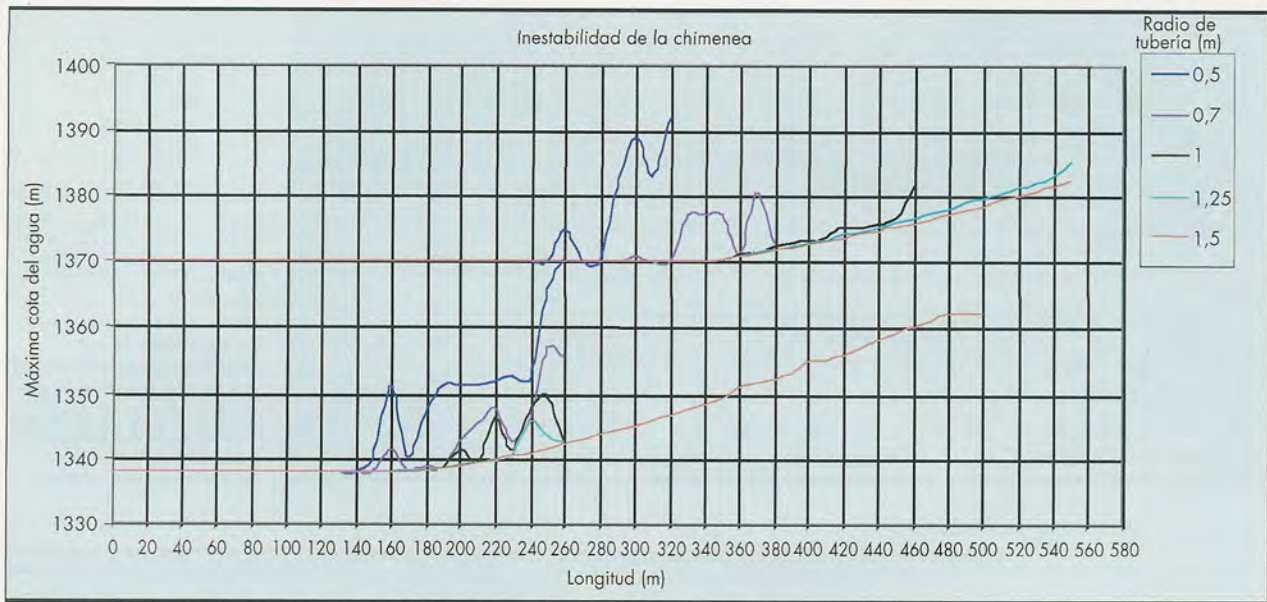


FIGURA 15. Máxima altura de agua/Longitud de tubería desde el origen.

Este gráfico es esencial para el diseño de los tramos de la chimenea; en él pueden verse varias cosas:

- La situación más desfavorable es aquella en que el embalse está en el nivel mínimo de explotación.
- Puede observarse que hasta una cierta longitud, el radio de los primeros tramos de la chimenea no tiene influencia en absoluto en la altura máxima de la misma.
- Podrán situarse varias longitudes con diferentes radios, que irán aumentando progresivamente en la chimenea.
- A partir de un radio igual a 1.5 m, la chimenea deja de ser inestable, luego este será el radio de los últimos tramos de la misma.
- Desde una distancia de 140 m al origen hasta los 230 m, lo más conveniente será colocar un tramo de radio 1.25 m.
- Hasta el origen de este se podrá colocar un tramo de 0.5 ó 0.75 m de radio y 140 m de longitud sin que influya en la altura máxima.

5.2 ALTURA MÍNIMA DE AGUA EN LA CHIMENEA. TRAMOS INFERIORES

La parte de la chimenea que no se ve afectada por el diámetro de los tramos superiores se puede dividir en dos tramos de pendientes distintas, como se ve en la figura 16. Para hallar el radio del tramo más próximo a la galería de presión, se ha hecho un estudio de la influencia de este en la altura mínima alcanzada por el agua en relación con el diámetro del elemento de entrada de agua en la chimenea. Es condi-

ción fundamental que el agua no baje de la cota 1285 m (unión de la chimenea con la galería de presión), ya que se corre el riesgo de que entre en esta última.

Debe tenerse en cuenta que los tramos superiores de chimenea pueden aún ejercer una influencia sobre la altura mínima de agua en la misma. Para comprobarlo, se ha realizado un estudio de tres casos (figuras 17, 18 y 19), variando el radio del tramo inmediatamente superior, que en el estudio de los últimos tramos se dijo que debía estar comprendido entre 0.5 y 0.75 m.

En estas figuras puede observarse una característica común: cuanto mayor es el radio de la tubería, menor es el radio necesario de elemento de entrada de agua en la chimenea al principio de la chimenea. Así, surge la primera dificultad para elegir los diámetros óptimos de estos gráficos, pues no se sabe si será más rentable un radio de tubería grande o uno pequeño. De este modo, habrá que realizar un estudio económico que valore los precios de las distintas opciones.

Pero antes habrá que elegir el radio del segundo tramo de tubería empezando desde la toma de agua. Para ello será necesario realizar un estudio económico de las tuberías incluyendo el sistema de entrada de agua, que es de hormigón, para ver qué sale más barato. Así se obtienen los resultados expresados en la figura 20, donde puede verse que es más barato colocar una tubería de 0.5 m de radio tanto en el primer tramo como en el segundo tramo.

Sin embargo, hay que estudiar las posibles inestabilidades que se produzcan en la chimenea debido a un radio de-

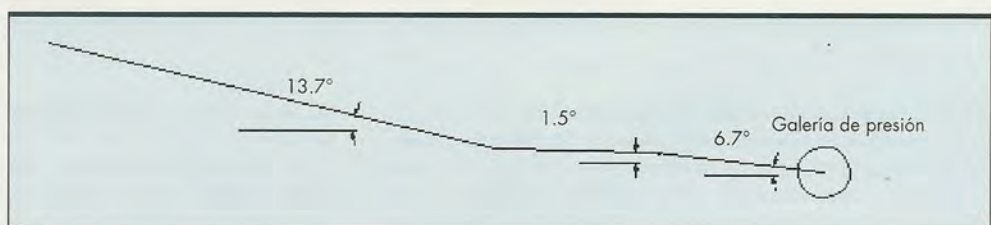


FIGURA 16. Pendientes en los tramos inferiores de la chimenea.

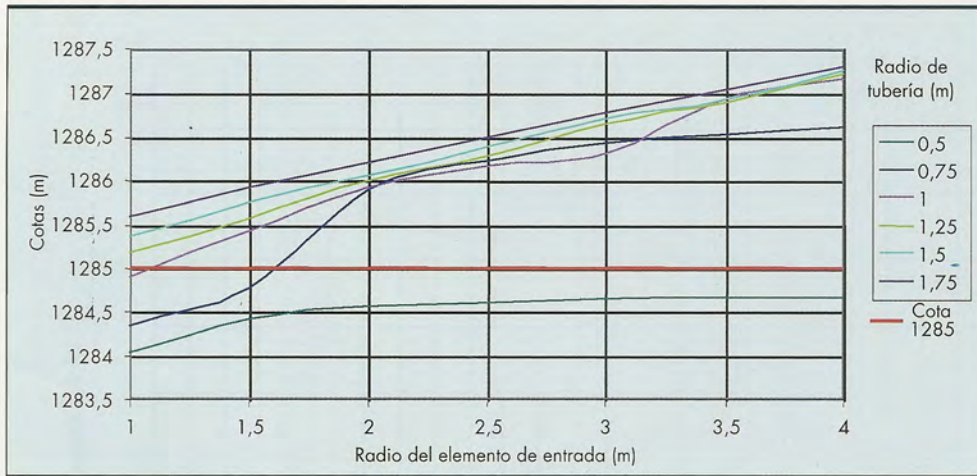


FIGURA 17. Mínima altura de agua/Radio del elemento de entrada. Este gráfico muestra las variaciones del nivel mínimo de agua en el caso en que el radio del tramo inferior con influencia en la altura máxima de la chimenea es 0.5 m.

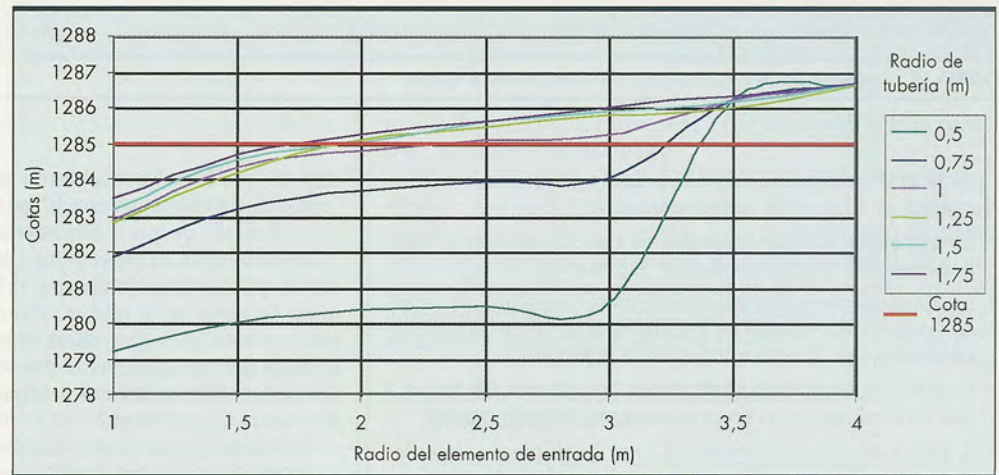


FIGURA 18. Mínima altura de agua/Radio del elemento de entrada. Este gráfico muestra las variaciones del nivel mínimo de agua en el caso en que el radio del tramo inferior con influencia en la altura máxima de la chimenea es 1 metro.

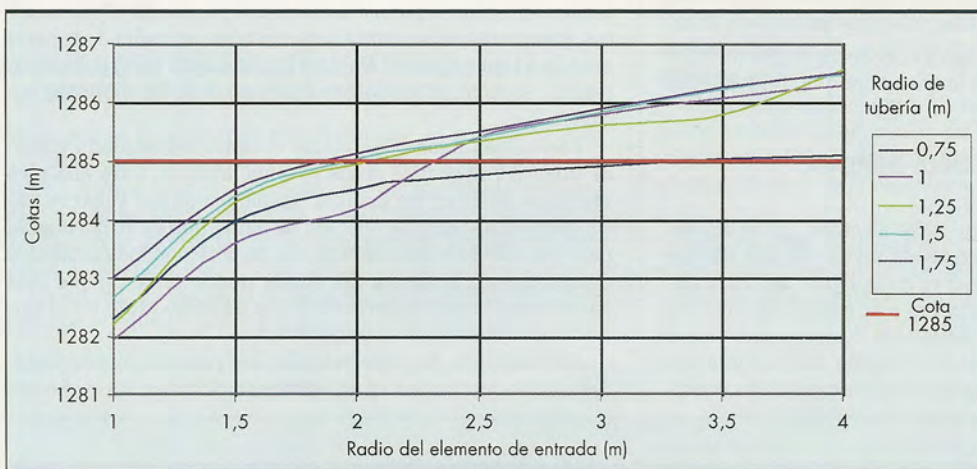


FIGURA 19. Mínima altura de agua/Radio del elemento de entrada. Este gráfico muestra las variaciones del nivel mínimo de agua en el caso en que el radio del tramo inferior con influencia en la altura máxima de la chimenea es 1.5 m.

masiado pequeño. Para ello, en la figura 21 se ha hecho una relación de todos los radios que se están estudiando cuando el nivel mínimo de la chimenea es de 1285 m, para ver cómo se comportan las curvas. En el momento en que estas dejan de ser continuas la chimenea se vuelve inesta-

ble. Ese es justo el radio mínimo de la tubería que se puede colocar.

De este modo, se obtiene que el radio óptimo para la entrada de agua en la chimenea, que será hecha in situ de hormigón armado o pretensado es de 1.8 m.

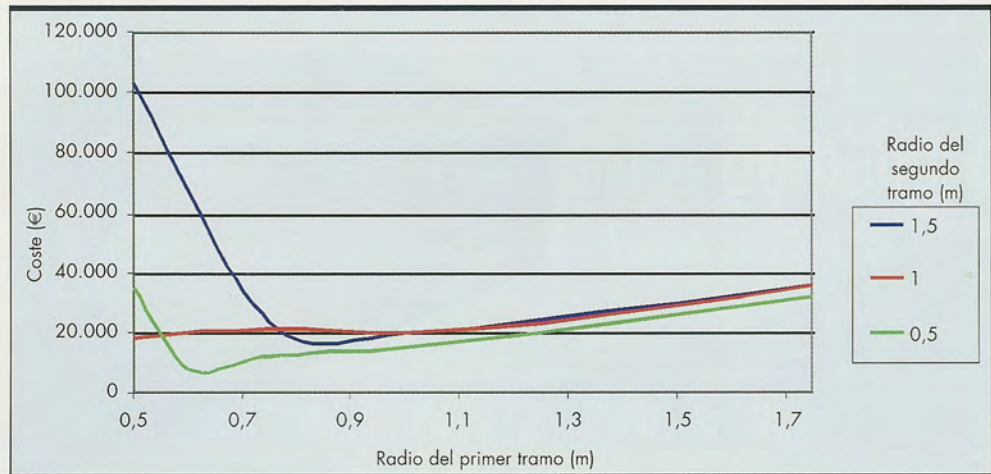


FIGURA 20. Coste/Radio del primer tramo.

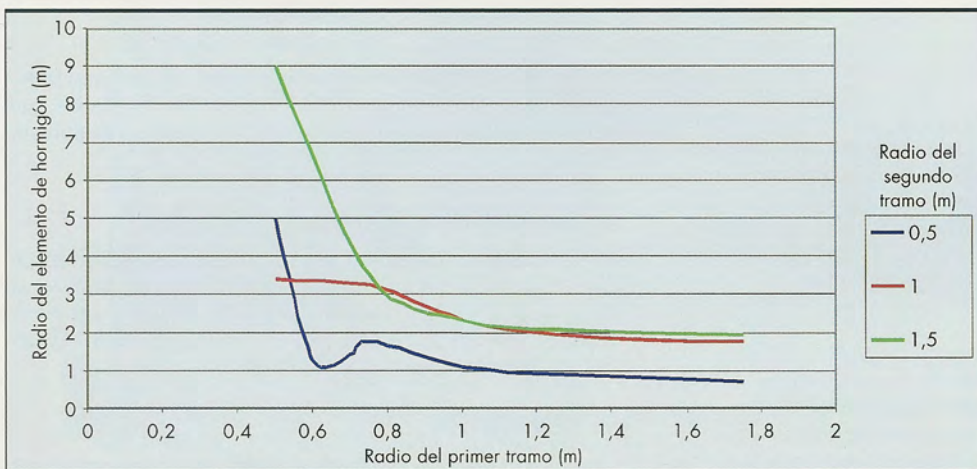


FIGURA 21. Radio de entrada de agua a la chimenea/Radio del primer tramo.

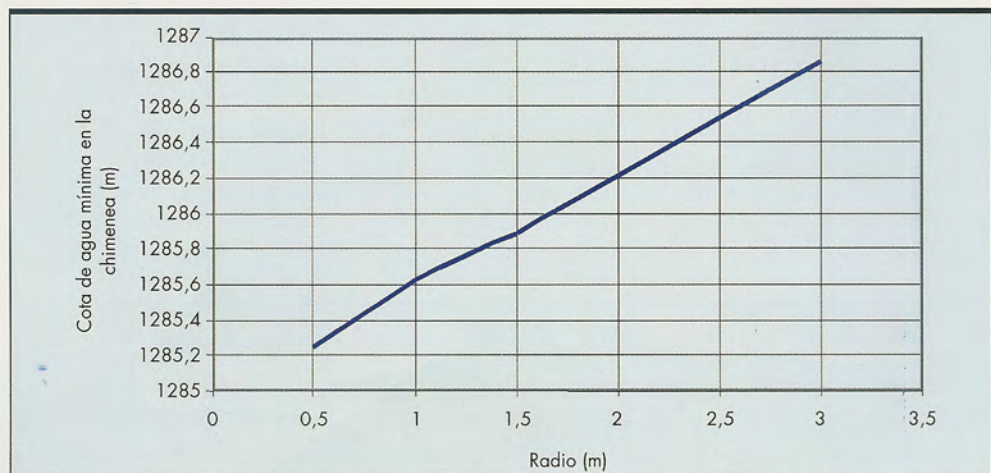


FIGURA 22. Altura de agua mínima en la chimenea/Radio del tramo con 1.25 m de radio.

El radio del elemento inmediatamente posterior, de políster reforzado con fibra de vidrio será de 0.75 m para una longitud de 46 m.

Para el tramo siguiente, bastará un radio de 0.5 m en una longitud de 140 m.

En cuanto a la influencia del tramo de 1.25 m de radio en la altura mínima de agua alcanzada en la chimenea, la figura 22 muestra que esta es mínima y que con ese radio el agua llega a una distancia del sumidero con un margen de seguridad de 0.8 m, lo cual es más que aceptable.

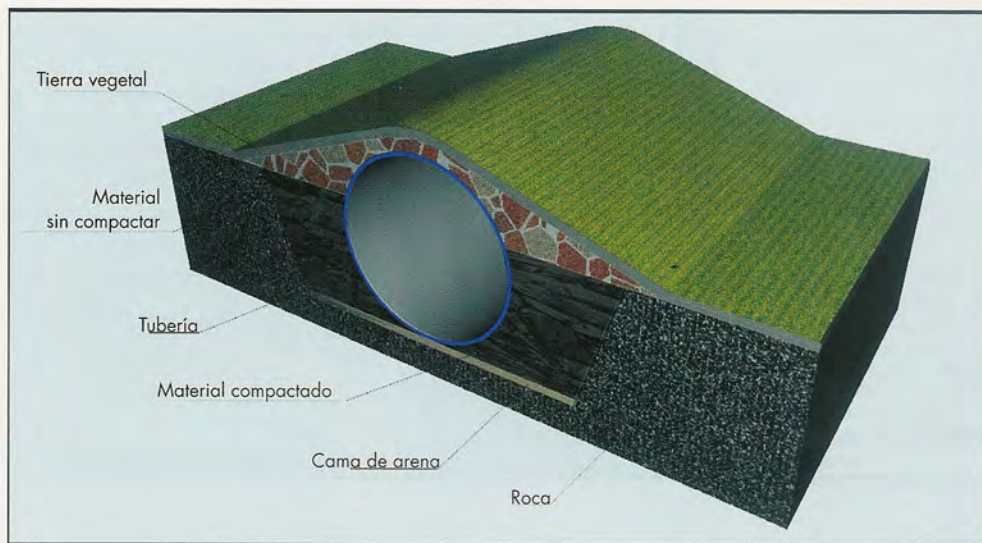


FIGURA 23. Sección tipo de la chimenea de equilibrio.

6. CARACTERÍSTICAS DE LA ZANJA:

La tubería podría ir simplemente al aire libre, arriñonada en el suelo; sin embargo, con los niveles actuales de exigencia ecológica en la sociedad, esa solución es insostenible por el gran impacto visual que provoca. De esta manera se propone enterrar total o parcialmente la tubería, de modo que se anule este impacto en todo lo posible, siguiendo a la vez un criterio ecológico y económico (ver figura 23).

7. CONCLUSIONES

Puede observarse cómo, cuando se dispone de la topografía adecuada, esta tipología de chimeneas es mucho más rentable que las que tradicionalmente se han venido construyendo para aprovechamientos hidroeléctricos con estas características. No sólo es mucho más barata que la que en su día se diseñó en esta zona, sino que también es mucho más fácil de construir: Imaginemos un simple tendido de tuberías frente a la construcción de una torre de hormigón pre-tensado de más de 80 m de altura.

En cuanto al tiempo que se tarda en construir, esta también tiene grandes ventajas: En algo más de dos meses está más que acabada.

Por último, es importante reseñar que el impacto visual que causa es también mínimo: si se quiere estas chimeneas pueden cubrirse desapareciendo totalmente a la vista.

En definitiva, el buen aprovechamiento de las características que ofrece el entorno, unido a las oportunidades que los nuevos materiales brindan consiguen facilitar el aprovechamiento de los recursos.

8. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha contado con la colaboración de Luis Maroto Cervera y Manuel Burón Maestro, profesores de la Universidad de Castilla-La Mancha. Nuestro agradecimiento también a las empresas URALITA y DRAGADOS S.A. al premiar este estudio.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Cuesta Diego, L., Vallarino, E. (2000) – *Aprovechamientos Hidroeléctricos*, Ed. del Colegio de ICCP.
- Gómez Navarro, J., Aracil, J. (1944) – *Salto de Agua y Presas de Embalse* – Ed. Tipografía Artística.
- Maroto Cervera, Luis (1962) – *Proyecto: Aprovechamiento hidroeléctrico del río Cenza*.
- Mosonyi, E. (1987) – *Water Power Development – Low Head Plants* – Ed. Collets.
- Ortiz Flores, R. (2001) – *Pequeñas centrales hidroeléctricas* – Ed. Mc Graw - Hill.

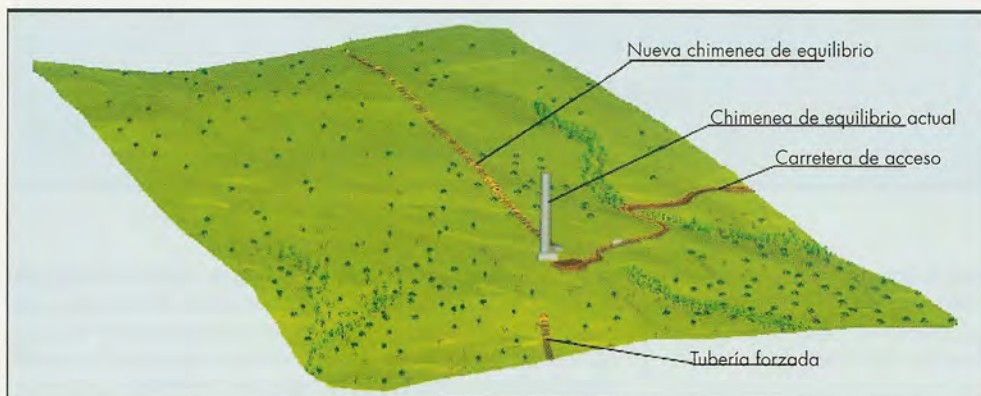


FIGURA 24. Resultado final del proyecto. En esta imagen se muestran en contraste la chimenea actual junto con la nueva chimenea inclinada. Puede verse que el impacto visual es mucho menor. Una vez hecha la revegetación del terreno, no quedará apenas señal de su existencia.