



# Matemáticas en contexto: El sifón de Rioseco

---

Trabajo Fin de Máster  
Máster en Formación del Profesorado de Secundaria 2013

Almudena Herrera Peral  
Director: Mario Fioravanti Villanueva

# Matemáticas en contexto: El sifón de Rioseco

---

## Índice

---

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN .....               | 3  |
| FUNDAMENTO TEÓRICO .....         | 4  |
| MODELIZACIÓN.....                | 4  |
| INTERDISCIPLINARIEDAD .....      | 9  |
| CASO PRÁCTICO.....               | 11 |
| PRESENTACIÓN.....                | 11 |
| UBICACIÓN .....                  | 11 |
| CONTEXTO HISTÓRICO .....         | 14 |
| ORIGEN DEL SIFÓN .....           | 18 |
| ENTORNO FÍSICO .....             | 20 |
| CONTEXTO SOCIAL .....            | 22 |
| DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA..... | 23 |
| CONTEXTO CIENTÍFICO .....        | 30 |
| PROPUESTA DE AULA.....           | 34 |
| CONCLUSIONES.....                | 38 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS.....        | 39 |
| BIBLIOGRAFÍA .....               | 40 |

## INTRODUCCIÓN

---

En este trabajo se pretende afrontar la resolución de un problema complejo basado en la vida real por medio de la modelización y la interdisciplinariedad.

La modelización ayuda a presentar un problema de una forma más intuitiva y práctica y nos acerca a situaciones técnicas. Mediante el estudio de diversas disciplinas que intervienen en un problema, conseguimos comprender todos los aspectos que influyen en él, para así entenderlo como un todo y encontrar soluciones que se ajusten lo más posible a la realidad.

A continuación, se presenta nuestro caso práctico, el sifón de Rioseco. Una obra hidráulica emplazada en el valle del Nansa y rodeada de otras obras singulares. Nos acercaremos a ella desde los contextos y disciplinas más relevantes que nos ayudarán a entender que es un sifón. Dando especial importancia al contexto histórico en el que se inscribe, a su entorno físico y a su contexto científico.

Finalmente, mediante una propuesta de aula se pretende acercar estos contenidos de distintas disciplinas y tratar de resolver esta estructura dentro de su entorno. Modelizando el problema pero sin eliminar los distintos contextos que intervienen en el sifón. De esta manera buscamos acercar la ingeniería, a través de las obras públicas construidas en el entorno próximo, al ámbito de estudio de los alumnos de 4º de ESO.

## FUNDAMENTO TEÓRICO

---

Es una constante discusión de los docentes cuál es la mejor manera de transmitir los conocimientos a los alumnos. No seré yo quien aclare la cuestión. Pero permítanme exponer cual sería desde mi punto de vista la mejor manera de llegar a ellos con un tema tan poco habitual como un sifón hidráulico.

En el actual currículo de secundaria, hasta el momento legislado por la LOE (2006), la materias se presentan de forma estanca. Es cierto que se habla de transversalidad como cemento de unión entre los compartimentos de las materias pero no parece ser suficiente para llegar al profundo conocimiento que esperamos alcancen nuestros alumnos.

Aquí se formaliza una propuesta amparada por la actual ley de educación. Esta forma de abordar un tema o un problema pocas veces es tenida en cuenta, ya sea debido a la rigidez de las programaciones, por falta de tiempo o simplemente por desconocimiento por parte de los docentes.

Para presentar esta propuesta es necesario conocer lo que se entiende por modelización e interdisciplinariedad.

## MODELIZACIÓN

En la actualidad, el marco legal de la educación en España es algo confuso con la entrada de la nueva Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE) aprobada en el Congreso de los Diputados recientemente (21 de mayo de 2013). Pero tal como expone en su texto, esta ley modifica aspectos de la Ley Orgánica de Educación (LOE) y en ningún momento redefine las competencias ni la importancia de la modelización en el currículo. Así que, seguimos basándonos en el Real Decreto de Educación (1631/2006), en la LOE, que hace referencia en varias de sus competencias a la importancia de seguir el pulso de la vida cotidiana y estar conectadas con la realidad.

Para llevar a cabo la conexión con el mundo real, aparece la competencia básica que trata sobre la interacción y el mundo físico.

*“Así, forma parte de esta competencia la adecuada percepción del espacio físico en el que se desarrollan la vida y la actividad humana, tanto a gran escala como en el entorno inmediato, y **la habilidad para interactuar con el espacio circundante: moverse en él y resolver problemas en los que intervengan los objetos y su posición.** Asimismo, la competencia de interactuar con el espacio físico lleva implícito ser consciente de la influencia que tiene la presencia de las personas en el espacio, su asentamiento, su actividad, las modificaciones que introducen y los paisajes resultantes, así como de la importancia de que todos los seres humanos se beneficien del desarrollo y de que éste procure la conservación de los recursos y la diversidad natural, y se mantenga la solidaridad global e intergeneracional. Supone asimismo demostrar espíritu crítico en la observación de la realidad y en el análisis de los mensajes informativos y publicitarios, así como unos hábitos de consumo responsable en la vida cotidiana.”*

Además la competencia matemática incorpora la necesidad de **“resolver problemas relacionados con la vida cotidiana y con el mundo laboral.”**

*[...]“En definitiva, la posibilidad real de utilizar la actividad matemática en contextos tan variados como sea posible. Por ello, su desarrollo en la educación obligatoria se alcanzará en la **medida en que los conocimientos matemáticos se apliquen de manera espontánea a una amplia variedad de situaciones, provenientes de otros campos de conocimiento y de la vida cotidiana.**”*

Tal vez, para entender intuitivamente que es la competencia matemática podemos decir que, (Recio, 2007) “La competencia matemática así entendida, es una suerte de creatividad, esto es, la capacidad para producir intencionadamente novedades valiosas, aunque sea en prosaicos contextos de la vida cotidiana de cada uno.”

Pero relacionar las matemáticas con la vida real y el contexto más cercano no es novedoso ya a mediados de los años 50 fue Puig Adam en su *Decálogo de la Didáctica de la Matemática Media* quien afirmaba,

*“III.- Presentar la Matemática como una unidad en relación con la vida natural y social.”*

La definición de competencia dada por la LOE está basada en el informe PISA, emitido por la OCDE, donde define la educación basada en las competencias como un “sistema educativo que enfatiza la especificación, el aprendizaje y la demostración de aquellas competencias (conocimientos, destrezas y actitudes) que tienen una importancia central para determinadas tareas”

La competencia, por tanto, es la adquisición por parte de los alumnos de unos objetivos a largo plazo, que alcanzaran al término de su educación obligatoria.

Este informe define, dentro de la competencia matemática, un nivel inferior de competencias que debe adquirir un estudiante de secundaria, estas son:

- ✖ Pensar y Razonar
- ✖ Argumentar
- ✖ Comunicar
- ✖ Modelizar
- ✖ Plantear y Resolver Problemas
- ✖ Representar
- ✖ Utilizar Lenguaje Simbólico, Formal y Técnico, y Operaciones
- ✖ Emplear soportes y herramientas tecnológicas

Así pues la modelización está dentro de las competencias a adquirir. Y se caracteriza por un conjunto de capacidades que debe desarrollar el alumno (Gonzalez, Jara, Ortega, & Ruiz, 2009)

- ✖ C1. Estructurar el campo o situaciones que va a modelarse.
- ✖ C2. Traducir la realidad a una estructura matemática.
- ✖ C3. Interpretar los modelos matemáticos en términos generales.

- ✖ C4. Trabajar con un modelo matemático.
- ✖ C5. Reflexionar, analizar y ofrecer la crítica de un modelo y sus resultados.
- ✖ C6. Comunicar acerca de un modelo y de sus resultados (incluyendo sus limitaciones)
- ✖ C7. Dirigir y controlar el proceso de modelización.

Para realizar un correcto ejercicio de modelización podemos tomar como normas básicas el decálogo de ocho etapas de la modelización de H.O. Pollack en (Alsina):

- ✖ “1. Se identifica algo en el mundo real que queremos conocer, hacer o entender. El resultado es una cuestión en el mundo real.
- ✖ 2. Seleccionamos “objetos” que parecen importantes en la cuestión del mundo real e identificamos las relaciones entre ellos. El resultado es la identificación de conceptos clave en la situación del mundo real.
- ✖ 3. Decidimos lo que consideraremos o lo que ignoraremos sobre los objetos y su interrelación. No se puede tomar todo en cuenta. El resultado es una versión idealizada de la cuestión original.
- ✖ 4. Traducimos la versión idealizada a términos matemáticos y obtenemos una formulación matematizada de la cuestión idealizada. A esto lo llamamos un modelo matemático.
- ✖ 5. Identificamos los apartados de la matemática que pueden ser relevantes para el modelo y consideramos sus posibles contribuciones.
- ✖ 6. Usamos métodos matemáticos e ideas para obtener resultados. Así surgen técnicas, ejemplos interesantes, soluciones, aproximaciones, teoremas, algoritmos,...
- ✖ 7. Tomamos todos estos resultados y los trasladamos al principio. Tenemos entonces una teoría sobre la cuestión idealizada.
- ✖ 8. Ahora debemos verificar la realidad. ¿Creemos en el resultado? ¿Son los resultados prácticos, las respuestas razonables, las consecuencias aceptables?

(a) Si la respuesta es sí, hemos tenido éxito. Entonces el siguiente trabajo que es difícil pero extraordinariamente importante es comunicar lo encontrado a sus usuarios potenciales.

(b) Si la respuesta es no, volvemos al inicio. ¿Por qué los resultados no son prácticos o las respuestas no razonables o las consecuencias inaceptables? Seguramente el modelo no era correcto. Examinamos lo que pudimos hacer mal y porqué y empezamos de nuevo. “

Pero la aproximación tradicional del currículo por bloques (Geometría, Álgebra...) hace que se ahonde en aprender los procedimientos matemáticos estándar y el conocimiento (contenidos) de situaciones extraídas de la vida real se dejen en un segundo plano.

Se entiende que al trabajar los procedimientos los alumnos llegarán por si solos al conocimiento de estas situaciones, pero esto no es así. Por lo que se necesitan actividades que relacionen los procedimientos adquiridos con estas situaciones reales.

Estas actividades deben ser problemas abiertos, complejos y relacionados con la realidad (Camacho, Gámez, González, & Recio, 2009).



## INTERDISCIPLINARIEDAD

La interdisciplinariedad es, según (Agazzi) “una armonización de varias especializaciones para la comprensión y solución de un problema.”

Es decir, para desarrollar una tarea desde un punto de vista interdisciplinar es necesario para empezar, tener suficientes conocimientos de un mismo problema en diversas disciplinas.

La forma adecuada de enfrentarse a esta situación es buscar un problema complejo y poner en cooperación los diferentes aspectos de las disciplinas para poder entenderlo y resolverlo. Pero corremos el riesgo de no saber coordinar los conocimientos de las distintas disciplinas y crear cajones estancos, por lo que es fundamental comprender cada concepto desde el punto de vista de cada disciplina y así acostumbrarse al uso de distintos conceptos para definir un mismo problema.

Además tal como dicen los autores (Balcells & Aza, 1995),

“Aplicar la verdadera interdisciplinariedad implica:

- ✖ Procesos de enseñanza ágiles, económicos y enriquecedores para el profesional de la docencia.
- ✖ Procesos de aprendizaje realmente significativos para el alumno.”

Nuestro proyecto (problema complejo) involucra a distintas especializaciones de distintas ramas de la ciencia y las humanidades: hidráulica, física de fluidos, matemáticas, patrimonio histórico, ingeniería, geografía, geología...

A través de todas estas especializaciones podemos tratar más competencias básicas definidas en la LOE.

En el apartado anterior se ha tratado en profundidad la competencia matemática, y la de interacción con el entorno físico.

Además de la competencia matemática y la competencia que trata sobre la interacción y el mundo físico, es posible tratar:

La competencia social y ciudadana, al tratar nuestro problema como una realidad social desde la disciplina de la geografía política.

*“Esta competencia favorece la comprensión de la realidad histórica y social del mundo, su evolución, sus logros y sus problemas. La comprensión crítica de la realidad exige experiencia, conocimientos y conciencia de la existencia de distintas perspectivas al analizar esa realidad.*

*Conlleva recurrir al análisis multicausal y sistémico para enjuiciar los hechos y problemas sociales e históricos y para reflexionar sobre ellos de forma global y crítica, así como realizar razonamientos críticos y lógicamente válidos sobre situaciones reales, y dialogar para mejorar colectivamente la comprensión de la realidad.”*

Incluso favorece la competencia cultural y social, ya que nuestro problema forma parte del patrimonio cultural de la región.

*“Esta competencia supone conocer, comprender, apreciar y valorar críticamente diferentes manifestaciones culturales y artísticas, utilizarlas como fuente de enriquecimiento y disfrute y considerarlas como parte del patrimonio de los pueblos.”*

Además es posible alcanzar la competencia de aprender a aprender y la de autonomía personal pero estas competencias no están incluidas en ninguna disciplina concreta. Más bien, tienen una componente transversal, es decir, son contenidos que no hacen referencia a ninguna materia específica del currículo.

## CASO PRÁCTICO

---

### PRESENTACIÓN

A continuación expondremos un problema complejo, el sifón de Rioseco, extraído de la realidad que estudiaremos desde diversas disciplinas o aspectos para qué como docentes, podamos acercarnos al problema desde distintos enfoques.

En primer lugar, debemos ubicar el sifón y la pertenencia a una estructura superior. Después en el contexto histórico explicaremos para qué necesitamos esta estructura. Con el contexto de aplicación científica contestaremos a la pregunta de por qué resolvemos así el problema. Usaremos el contexto de entorno físico para conocer su situación en el paisaje y en el entorno social que lo rodea.

### UBICACIÓN

Nuestro problema está extraído de una realidad social y de un paisaje concreto. Se trata del sifón de Rioseco, en Rionansa (Cantabria). Ubicado a menos de un kilómetro de Puentenansa la capital del municipio. Es una obra pública hidráulica que forma parte de una infraestructura superior conocida como Saltos del Nansa. Esta obra está formada por un conjunto de saltos hidráulicos que encontramos dispuestos en serie a lo largo del curso del río Nansa.

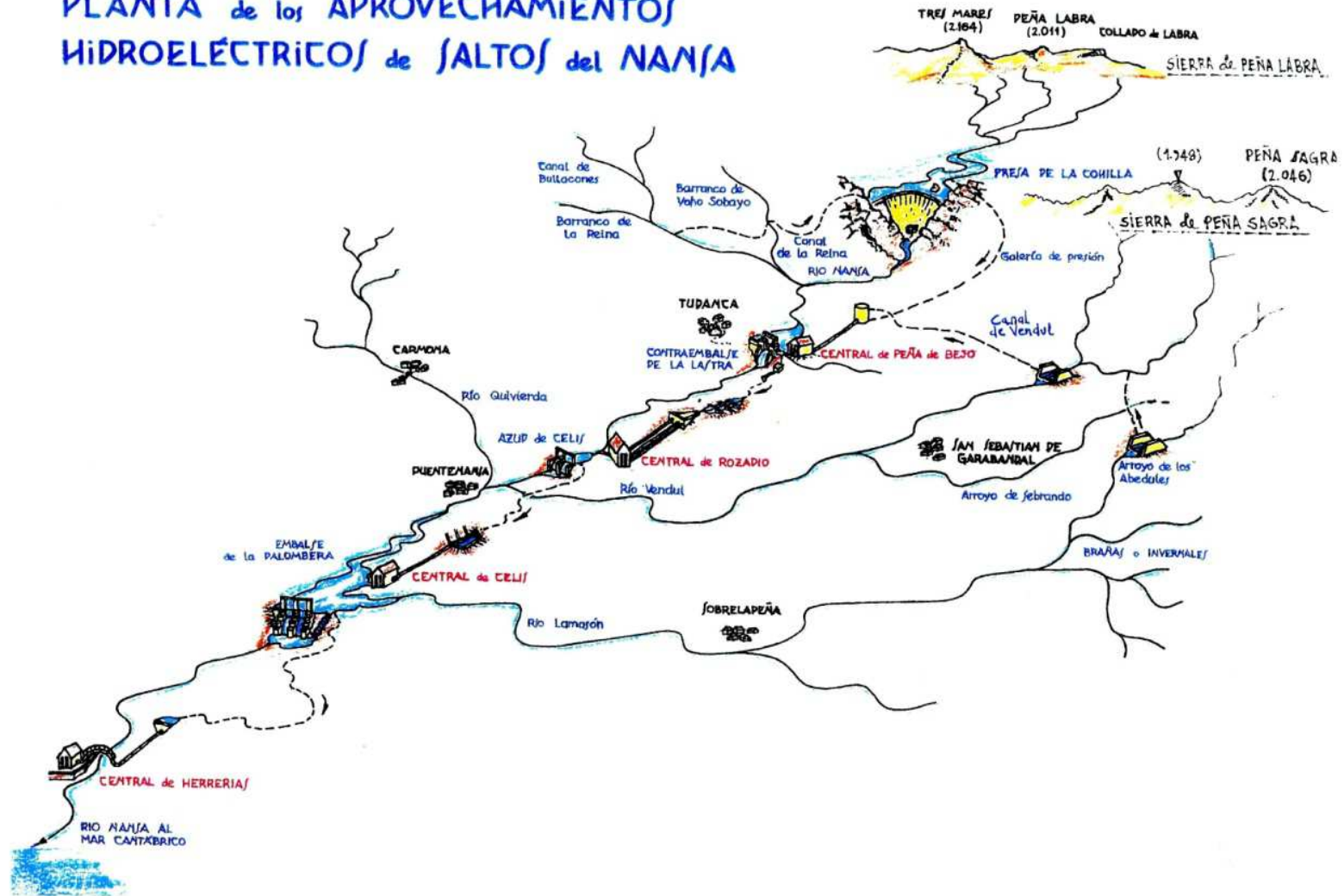
Brevemente expondremos el funcionamiento de este conjunto de saltos. La idea es almacenar una gran masa de agua a la mayor cota posible e ir la haciendo pasar por centrales hidroeléctricas que transformarán esta energía potencial en cinética y posteriormente, en electricidad.

La gran masa de agua se resuelve creando la presa de La Cohilla, su aprovechamiento es la central hidroeléctrica de Bejo. A la salida de esta central el agua vuelve al cauce del río que posteriormente vuelve a ser retenida y aprovechada en la siguiente central, la central de Rozadio. Nuevamente a la salida de esta central, el agua se remansa en el azud de Celis y mediante

canales y tuberías el agua es conducida a la central de Celis. Aquí se vuelve a transformar en electricidad, el agua desagua la presa de Palombera y el nuevo aprovechamiento se encuentra ya en Herrerías para finalmente desaguar en el cauce del río y este desembocar en la Tina Menor.

A continuación se presenta un croquis con los saltos que aparecen en la cuenca.

## PLANTA de los APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS de SALTO del NARJA



## CONTEXTO HISTÓRICO

La empresa que tuvo la idea de aprovechar la energía potencial de la cuenca del Nansa es la sociedad Saltos del Nansa S. A. que se constituyó en Madrid en el año 1941. Su objetivo era construir y explotar un aprovechamiento hidroeléctrico en el río Nansa que produjese energía para usos industriales. Esa energía se suministraría a las fábricas que la empresa Nueva Montaña Quijano S. A. poseía en de Los Corrales de Buelna y Santander.

El motivo de la creación de este aprovechamiento hay que buscarlo en la precaria situación de España en cuanto a la energía que incluso había llegado a la necesidad de imponer restricciones al consumo.

Así pues al realizarse una propuesta de estas características se entienden las facilidades administrativas (expropiación forzosa por razón de utilidad pública, suministro preferente de materiales, declaración de interés nacional para las obras, etc...) de que disfrutó la sociedad hidroeléctrica para la construcción de sus infraestructuras.

Anteriormente a la creación de esta sociedad, en 1913, todas las concesiones y proyectos primitivos que existían en el valle del Nansa fueron adquiridos por Alberto Corral Alonso de la Puente quien realizó numerosos aforos del Río Nansa entre los años 1915 y 1918 para buscar la solución más rentable.

En 1918 presentó un proyecto solicitando un salto de agua de 500 metros de altura total y 442 metros de altura útil derivando en total 2.330 litros, 2.200 procedentes del río Nansa y 130 captados en los regatos que se cruzaban con la traza del canal.

Se comenzó la construcción, pero rápidamente se observó que los aforos en verano del Nansa eran deficitarios así que se intentó ampliar la zona a las cuencas de los ríos Vendul y Lamasón para que el caudal obtenido a lo largo de todo el año fuese lo más constante posible. Pero tuvieron que esperar unos años hasta que caducaran las concesiones de esta nueva zona.



Así que finalmente la concesión se otorgó en 1939 por un plazo de 75 años. Las obras comenzaron en enero de 1940 y debían terminarse en enero de 1943.

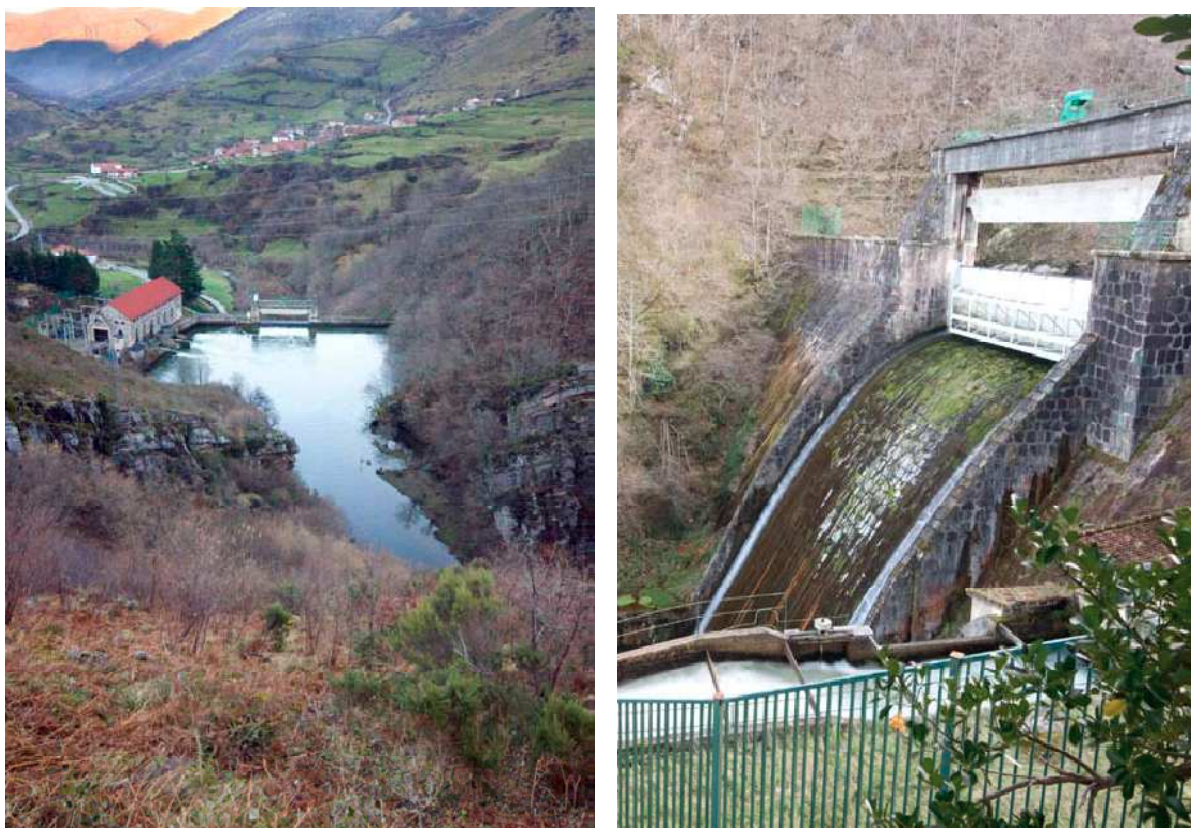
Finalmente el caudal mínimo aforado era de 550 l/s, lo que constituía una potencia mínima de 3300 CV en eje de turbinas. El caudal total era de 3800 l/s con una potencia en el eje de turbinas de 20000 CV.

Sin embargo, la potencia obtenida seguía siendo irregular así que se concluyó con la necesidad de construir un embalse. Para lo que eligieron la Hoz de Bejo. Se construyó la presa de la Cohilla con su Central Hidroeléctrica en el pueblo de La Lastra (Central de Peña de Bejo).



*Presa de La Cohilla*

Más abajo, en Rozadio, aprovechando el agua del contraembalse de La Lastra creado a los pies de la Central de Bejo, está la Central de Rozadio. El agua llega hasta la central circulando por medio de canales y tuberías forzadas.



***Central de Peña de Bejo, contraembalse y presa de La Lastra***

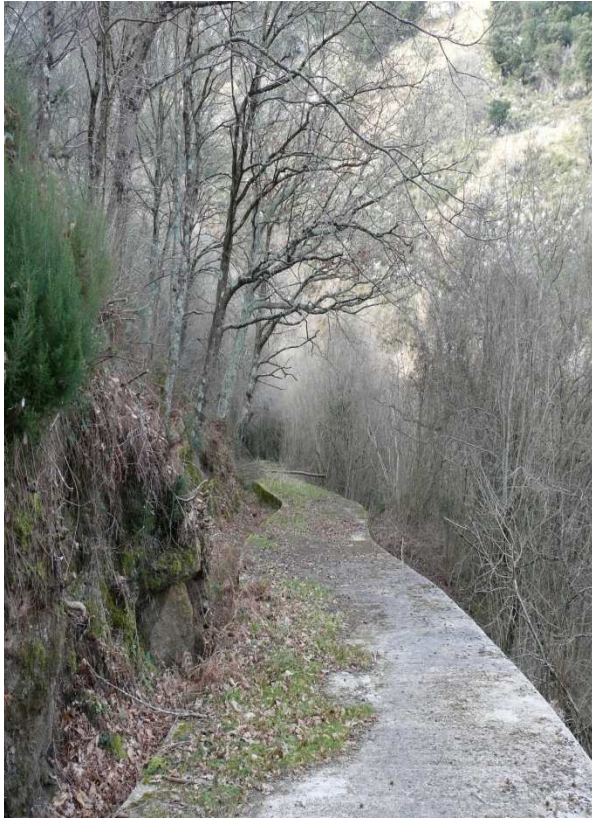
Hasta aquí llega el proyecto original. En 1944 se solicita una nueva concesión por parte de Santiago Corral Pérez ingeniero y consejero director de Saltos del Nansa, S.A. Ya que todavía existía un desnivel de 219 m. sin explotar. En principio apareció otra persona interesada pero finalmente desistió.

Finalmente en 1945 se obtuvo una nueva concesión que consistía en un nuevo salto en Celis al que llegaría el caudal por medio de un canal sin embalse. Y un segundo salto que se haría en Herrerías que entraría sólo en funcionamiento a demanda de puntas de energía; su caudal procedería del embalse de La Palombera.

Esta concesión se obtuvo, como hemos visto, en 1945 por un total de 99 años. Se concedieron en total 22150 l/s.

Dentro del Salto de Celis es donde se encuentra nuestro objeto de estudio, el sifón de Rioseco.





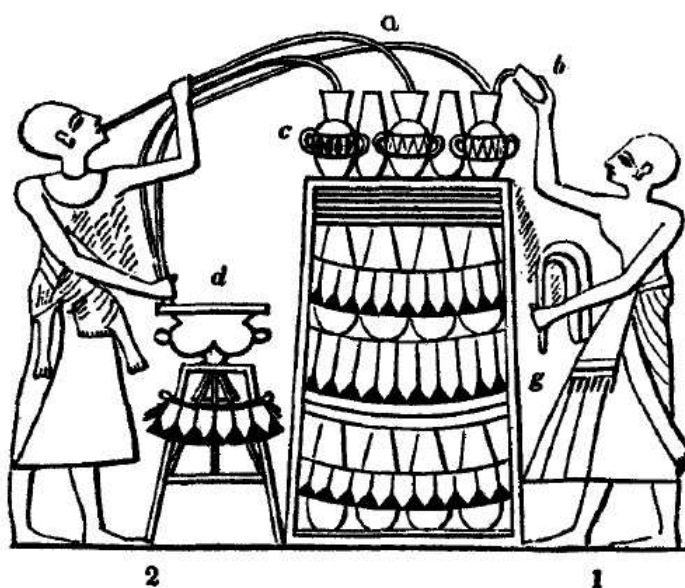
*Canal y Central de Celis*



*Presa de Palombera*

## ORIGEN DEL SIFÓN

En la actualidad se desconoce quién, cuándo y dónde se inventó el sifón. En 1837, J.G Wilkinson, en (Watson, 1954), reprodujo un relieve de una tumba egipcia en la que aparece el nombre de Amenofis II, quedando datado entonces en el año 1450 a.C. En este relieve aparecen claramente dos personas cebando un tubo para extraer vino o agua de unas tinajas.



*Egipcios trasvasando agua o vino*

La controversia surge cuando en la actualidad no es posible encontrar el relieve original. En cambio, sí existen manuscritos que hablan del uso del sifón datados sobre el 1100 a.C. Sin embargo, no hay evidencias de que fueran los egipcios los que lo inventaran.

Encontramos al precursor del sifón en una extraña pipa siria de la posiblemente se extrayera líquido. Este relieve se encontró en una tumba de Tell el Amarna a finales del siglo XIX. Esta tumba está datada entre los años 1380-1360 a.C. Es de estilo egipcio pero está representado en ella un soldado sirio.

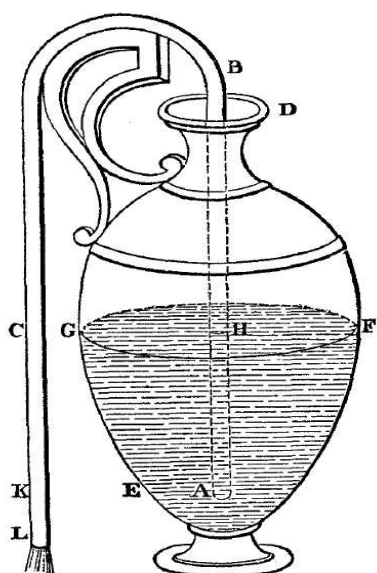




***Sello donde aparece un sirio aspirando o sorbiendo a través de un tubo doblado***

Además se han encontrado sellos donde se representan piezas y tubos de metal usados para beber en tumbas de Siria e Irak que posiblemente sean del 2700 a.C. así que es posible sugerir que el sifón fuese inventado en Mesopotamia mucho antes del 1450 a.C. y que fuese introducido en Egipto en el segundo milenio a.C.

Fue el ingeniero Herón de Alejandría en el siglo I d.C., el que describe por primera vez el funcionamiento de un sifón. Aparece en su tratado “La neumática” que trata sobre hidráulica.



***El sifón de Herón de Alejandría.***

## ENTORNO FÍSICO

El aprovechamiento hidroeléctrico del río Nansa, se localiza en la totalidad de la cuenca de este río. Por lo tanto el patrimonio físico y paisajístico que abarca es grande, desde las estribaciones de la Cordillera Cantábrica hasta las marismas de Tina Menor y las dunas de Oyambre.

La cuenca del Nansa con una superficie de 415 km<sup>2</sup> es una de las cuencas hidrográficas más importantes de Cantabria. El río principal es el Nansa con 57 km desde Polaciones, en la confluencia de dos arroyos donde nace, hasta su desembocadura en la ría de Tina Menor, Pesués.



*Cabecera del Valle del Nansa (Polaciones) y su desembocadura (Tina Menor)*

Geológicamente la cuenca está formada por areniscas y calizas, rocas muy resistentes que encontramos en los picos de mayor altura, Peña Labra y Peña Sagra.

La cuenca tiene una forma alargada por lo que el valle es estrecho y los ríos tributarios que llegan al Nansa tienen una longitud muy limitada y aportan poco caudal. No obstante, los principales afluentes del Nansa están en su cabecera y son: Pejanda, Vendul, Espinal y Collarín. Otro afluente de la vertiente de Peña Sagra es el Lamasón. En Puenteansa se incorpora el Quivierda procedente del valle de Carmona.

Todo el caudal del río y el de sus aportaciones desemboca en la ría de Tina Menor la desembocadura más occidental de Cantabria. A pesar de la presencia de rocas calizas casi todas las aguas de la cuenca son superficiales.

Las actividades económicas y los usos tradicionales han supuesto la desaparición de bosques, como resultado hay una variada diversidad paisajística. Pastizales de siega, matorrales, turberas, roquedos y bosques. En la cuenca baja también existen cultivos madereros, sobre todo, eucalipto y pino. Los cursos de agua poseen bosques fluviales formados por abedulares y hayedos.

El aprovechamiento hidráulico del Nansa genera un gran impacto a lo largo de la cuenca, de manera más notoria se hace cerca de la desembocadura donde los peces migradores (salmones, reos, anguilas y lampreas) no pueden remontar el río debido a la existencia de la presa de Palombera. Esto supone la pérdida entre un 80-95% del hábitat para el salmón atlántico.

Además no existen estudios sobre la retención de sedimentos a lo largo del Nansa ocasionado por las numerosas presas que cruzan su trazado. En circunstancias naturales estos lodos sedimentarían formando terrazas aluviales y fertilizando las vegas.

## CONTEXTO SOCIAL

Casi la totalidad de la cuenca del Nansa se encuentra en Cantabria, tan sólo una pequeña parte de la zona baja pertenece a Asturias, el pueblo de Merodio, inscrito en el municipio de Peñamellera Baja.

En la cuenca existe un ambiente rural de núcleos más compactos que en otras zonas de Cantabria, con una densidad de 3-4 habitantes/km<sup>2</sup>. A medida que nos acercamos a la desembocadura los núcleos van creciendo en tamaño. Es en Val de San Vicente, en la desembocadura donde alcanza una densidad de 50 habitantes /km<sup>2</sup>.

El sector productivo que predomina es el primario donde destaca la ganadería y la agricultura (esta última para uso ganadero, maíz). También ocupan gran parte del territorio los cultivos forestales, sobre todo el eucalipto en la cuenca baja.

Esta cuenca cuenta con oficios tradicionales como la cantería o trabajos artesanales de la madera. En los últimos años el sector servicios ha ganado terreno al sector ganadero y ha aparecido el turismo rural.

La industria apenas influye en la economía de la cuenca y las pocas actividades industriales se alojan en Val de San Vicente de carácter costero. En cambio, una actividad industrial de alta incidencia en los ecosistemas fluviales de la cuenca es la actividad hidroeléctrica llevada a cabo por Saltos del Nansa S.A.



## DEFINICIÓN DE LA ESTRUCTURA

### SALTO DE CELIS

La estructura del Salto de Celis consta de un azud (Azud de Celis) que se construye aguas abajo de la central de Rozadio que llega a derivar 6000 l/s del río Nansa a un canal de derivación conocido como canal de Celis. Además del agua del Nansa capta hasta 1150 l/s de otros afluentes como el Vendul y otros arroyos. Una vez que el agua es conducida por el canal desemboca en un depósito de carga desde donde arranca una tubería forzada que llega hasta la central de Celis.



*Azud y Canal cubierto de Celis*

### CANAL DE CELIS

El canal de Celis forma parte de lo que se considera el salto III o Salto de Celis. Comienza como hemos dicho en el azud de Celis situado a 300 metros aguas debajo de la Central de Rozadio. Continúa durante 10,1 kilómetros mediante un canal y finaliza en un depósito de carga donde parte la tubería forzada que llega a la central.

Su trazado se desarrolla por la margen izquierda del río Nansa donde se enfrenta a muchos accidentes orográficos, salvándolos mediante obras de paso como acueductos, sifones, túneles y pasos sobre el canal.

En la siguiente fotografía aérea (orientada de Norte a Sur) aparecen señalados el trazado del canal de Celis, las poblaciones por donde pasa y los elementos de especial interés, como el sifón. Los tramos del canal desarrollados en túnel aparecen señalados con líneas discontinuas.





El canal tiene una sección rectangular de 2,70 x 1,75 m y está cubierto en toda su longitud. El canal está realizado con hormigón en la solera y mampostería hidráulica en los cajeros. Todo el interior está revestido con mortero de cemento.

Los muros de los cajeros soportan su propio peso aunque la disposición en trinchera hace que el relleno de tierras ayude a contrarrestar el empuje hidráulico. Solamente, cuando la pendiente transversal es elevada, se encuentra algún contrafuerte en el muro exterior.

El canal se encuentra cubierto en toda su superficie de una losa continua de hormigón. A lo largo del recorrido el canal dispone de aperturas para garantizar que el agua discurre en lámina libre (una atmósfera de presión).

El canal se inicia en el azud de Celis, en la cota 217m, discurre por la margen izquierda del río Nansa (coincidente con las curvas de nivel del terreno) y termina en la cámara de carga de la Central de Celis a 206,55m. En su recorrido salva un desnivel de 10,45m en poco más de diez kilómetros, lo que supone una pendiente media de 0,1%.

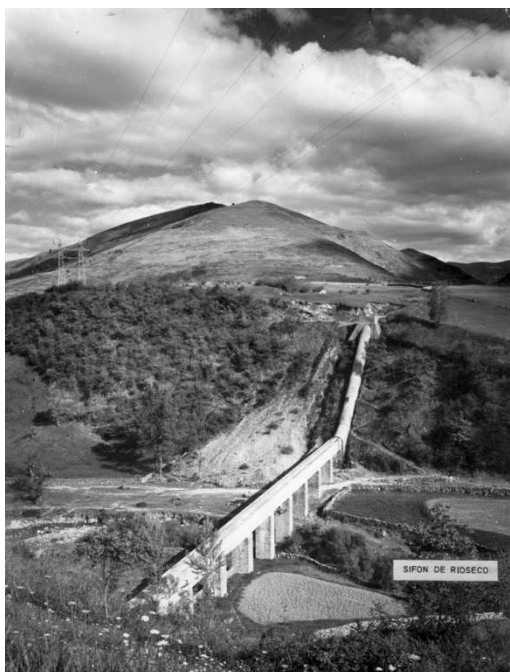


***Canal de Celis***

El trazado en su mayor parte discurre a media ladera donde se intercalan tramos en trinchera y en túnel, éstos últimos suponen alrededor de dos kilómetros y medio.

## SIFÓN DE RIOSECO

El sifón de Rioseco es una obra necesaria en el canal para salvar un desnivel de 23 m. Es una estructura de paso que funciona como una tubería a presión.



*Sifón de Rioseco 1950 (izda), 2011 (dcha)*

Está realizado en hormigón armado con juntas estancas y su longitud total es de 175m. La conducción forzada desciende por una de las laderas, se apoya en un acueducto para salvar la depresión del terreno y asciende por la otra ladera hasta un punto de cota ligeramente inferior al de arranque.



*Sifón de Rioseco*





***Cámara de entrada***



***Cámara de salida***

En los puntos inicial y final del sifón se encuentran las cámaras de entrada y salida que funcionan como estructuras de transición entre el canal y la conducción forzada. En la embocadura de salida se encuentra una rejilla metálica que sirve de respiradero.

La conducción se resuelve con sección transversal circular en los tramos descendente y ascendente, y con igual sección pero reforzada en los cuatro cuadrantes en la parte del acueducto, ya que al tratarse de la parte inferior del sifón la presión hidráulica que se ejerce en ella es elevada.



***Detalle del codo***



***Válvula de purga***

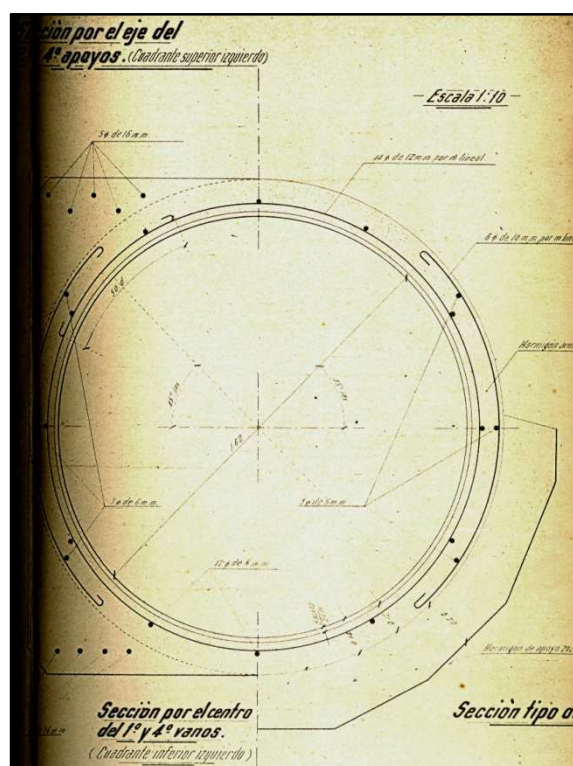
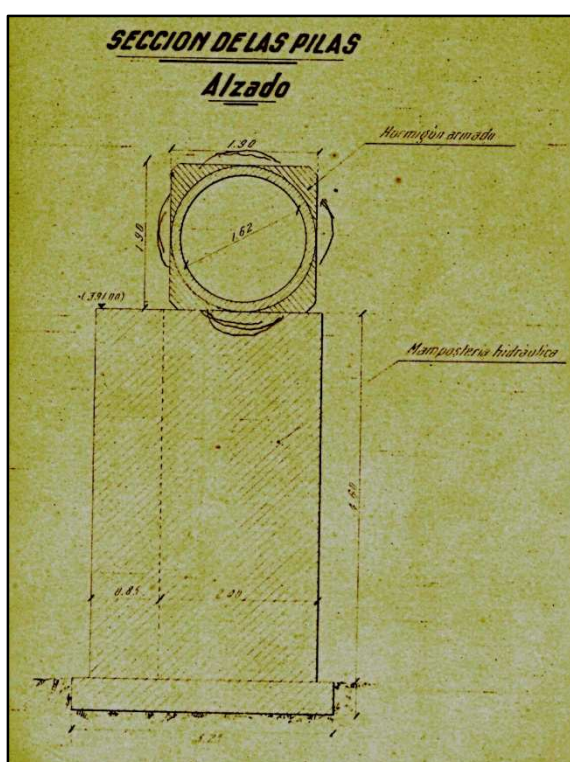
El acueducto, que enlaza dos tramos de túnel, consta de ocho vanos de 7m de luz cada uno, apoyados en siete vigas de sección rectangular realizadas en mampostería hidráulica. La altura desde la parte inferior del cajero hasta el suelo es de aproximadamente 5m.

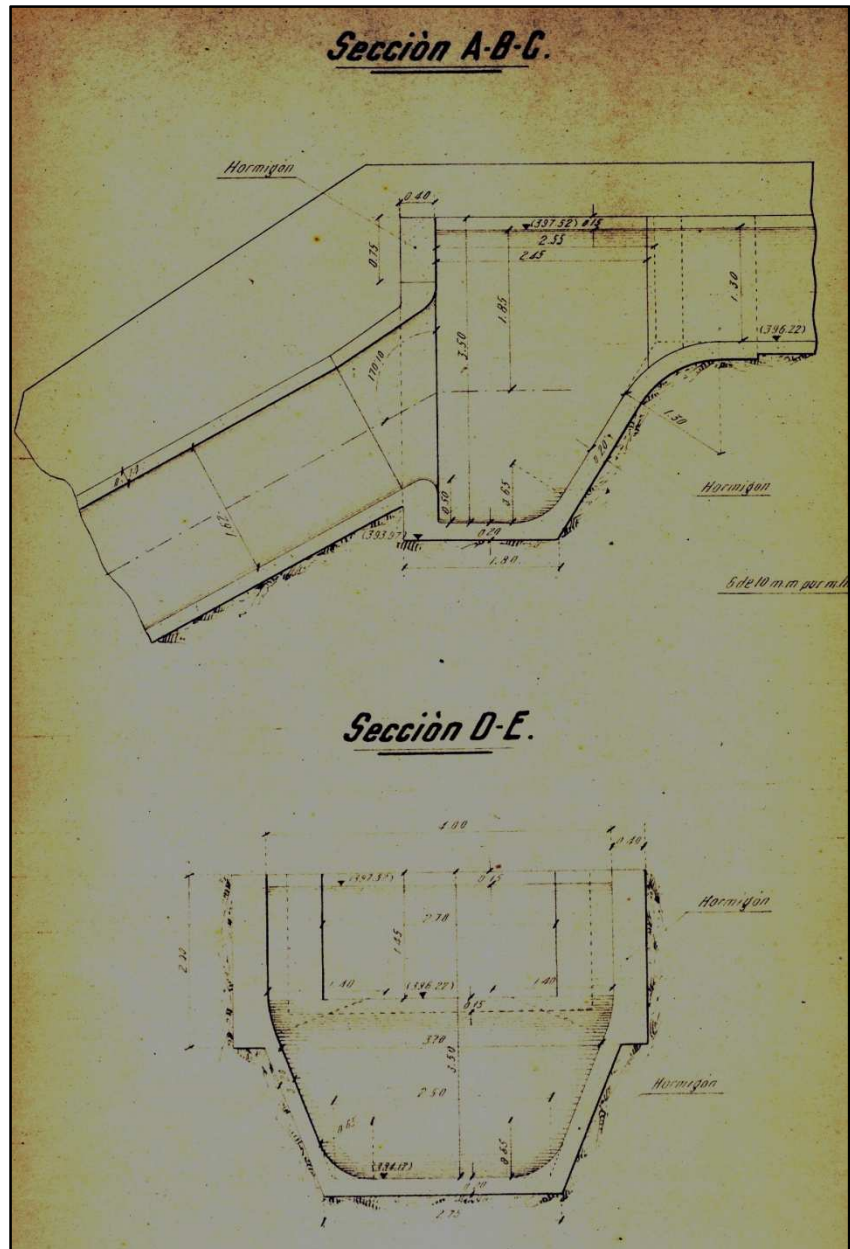


En la parte inferior de uno de los vanos se encuentra la válvula de purga de agua y lodos que permite el vaciado del sifón.

No se conservan los planos de construcción de esta estructura pero, en cambio, en el *Proyecto de los Aprovechamientos Hidroeléctricos de Celis y Herrerías en el río Nansa*, 1944, se conservan los de un sifón de similares características que no se llegó a construir en el pueblo de Cosío.

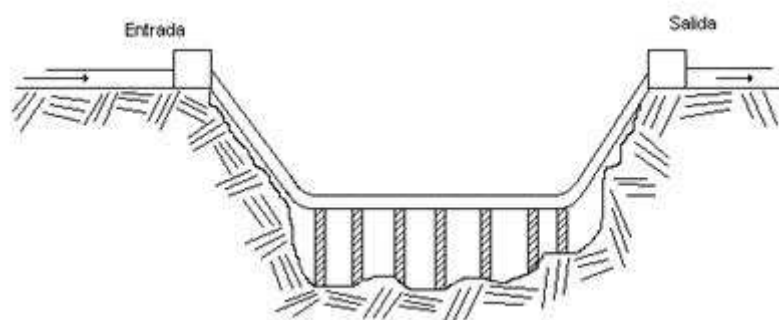
Los siguientes planos reproducen vistas del proyectado y no construido sifón del Vendul, con la cámara de carga, secciones tipo y apoyos.





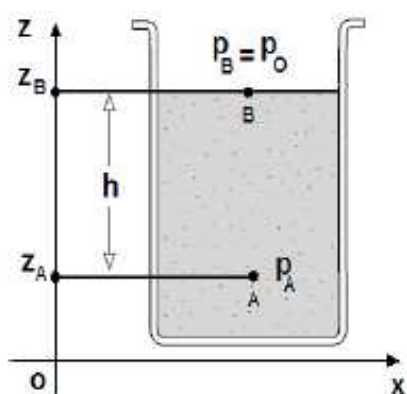
## CONTEXTO CIENTÍFICO

Un sifón es una obra que sirve para resolver un problema de diferencia de cotas en una conducción de agua. En nuestro caso se trata de un sifón invertido, ya que el agua no sube y luego baja sino que primero baja para luego subir.



Un sifón invertido es una tubería forzada, (el líquido transportado va a presión) en forma de U. Sirve para conducir el agua a través de una depresión del terreno, en este caso de una vaguada.

Para explicar del **comportamiento de un sifón**, nos basaremos en el principio fundamental de la hidrostática que dice “la diferencia de presión entre dos puntos de una masa líquida en equilibrio es directamente proporcional a la diferencia de niveles (profundidades) considerados respecto de la superficie libre del líquido”.



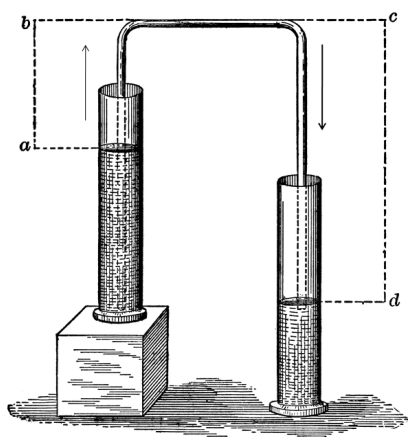
En este ejemplo, para obtener la presión del punto A, la calculamos a partir del punto B:

$$p_A = p_B + \rho gh = p_0 + \rho gh$$

Siendo  $\rho$ , la densidad del fluido y  $g$  la aceleración de la gravedad.

La cantidad  $\rho gh$  corresponde a la presión hidrostática  $p_H$ , ejercida sobre la base de una columna homogénea de fluido en equilibrio de altura  $h$ , por efecto de la fuerza de la gravedad.

Si llenamos un tubo de agua con forma de U, lo tapamos y damos la vuelta sobre depósitos colocados a distintas alturas donde uno esté lleno de agua y otro vacío y destapamos el tubo.



Lo que ocurrirá será que los depósitos estarán en comunicación mediante el tubo y al tener el mismo fluido (agua) en condiciones normales se cumplirá el principio de la hidrostática, por lo que el agua se moverá hasta que en los dos depósitos haya el mismo nivel de agua.

Por lo que el agua del recipiente más alto se vaciará en el recipiente más bajo hasta que se igualen los niveles de agua de los dos depósitos.

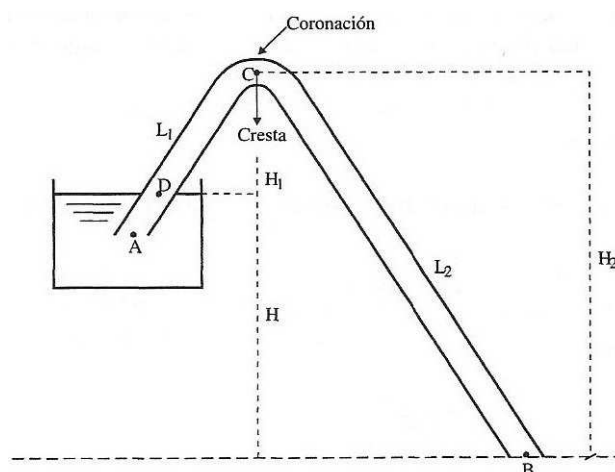
Al sifón de Rioseco llega el agua por medio del canal en lámina libre ( $p_o = p_{atm}$ , presión atmosférica) y pasa a través de una cámara donde se depositan lodos. A partir de aquí el agua pasa a una tubería que está en carga, es decir, a otra presión distinta a la atmosférica.

El agua baja a lo largo del sifón, llega a la parte horizontal del sifón y luego sube; esto lo hace ya que el agua busca cumplir el principio de la hidrostática que las alturas de ambos puntos sean iguales. El agua llega al final de la tubería a la cámara de salida que está a presión atmosférica.

En realidad, el sifón para que funcione debe partir de una cota más elevada que la cota de salida del sifón. Esto es debido a las pérdidas de carga por rozamiento que acumula el sifón, estas están originadas por los codos, las variaciones de sección... así pues en la salida del sifón se origina un descenso del nivel del agua respecto del de entrada.

Para entender este concepto y los principios físicos que afectan al sifón, estudiaremos el caso de un sifón directo.



**Sifón directo**

En primer lugar, necesitamos que el sifón esté lleno de agua y sin ninguna burbuja de aire, es decir, el sifón debe estar cebado. Esto se consigue aspirando el líquido desde el extremo inferior (B).

Observando nuestra figura del sifón directo vemos que el punto A es la boca de entrada y el punto de salida es el punto B. la longitud del sifón en este caso es de  $L = L_1 + L_2$ .

Las condiciones de funcionamiento del sifón vienen establecidas por la ecuación de Bernouilli que se aplican para un flujo laminar moviéndose a lo largo de una corriente de agua.

Aplicando la ecuación entre el punto D, situado al nivel del agua y el punto B en la boca de salida,

$$H_D = H_B + \Delta h_{AB}$$

Siendo  $\Delta h_{AB}$  las pérdidas de carga totales entre A y B.

$$H_B = z_B + \frac{P_B}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g}$$

Donde  $H_B$  es la altura hidráulica, el sumando  $z_B + \frac{P_B}{\gamma}$  es la altura piezométrica y  $\gamma = \rho g$

Podemos decir que,

$$H + \frac{P_{atm}}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{P_{atm}}{\gamma} + \frac{v_B^2}{2g} + \Delta h_{AB}$$

Ya que la velocidad de D es nula por ser un depósito. La presión de los puntos B y D es la misma, la presión atmosférica. Por lo tanto, podemos escribir la expresión como:

$$v_B = \sqrt{2g(H - \Delta h_{AB})}$$

En conclusión, como la velocidad media del líquido al circular por el sifón ha de ser positiva, la boca de la salida ha de estar situada por debajo del plano del nivel del depósito y tanto más abajo cuanto mayores sean las pérdidas de carga totales.

Si aplicamos el teorema de Bernouilli entre el punto D y el vértice C, se obtiene que la elevación del vértice siempre debe ser inferior a la altura de la presión atmosférica en ese punto.

Si finalmente aplicamos la ecuación entre el punto C y el punto D obtenemos que la rama del sifón descendente no puede prolongarse indefinidamente.

Así pues en el caso de nuestro sifón inverso para conocer la velocidad del agua en la salida o para dimensionar correctamente el sifón es necesario conocer las pérdidas de carga por rozamiento de cada tramo del sifón, por los codos y las diferencias de cargas dinámicas.

## PROPUESTA DE AULA

---

La propuesta de aula “El sifón de Rioseco” estará enmarcada en el entorno físico y social anteriormente descrito y se basará en las disciplinas definidas previamente.

Los contenidos que se abordarán en esta propuesta serán desde un punto de vista conceptual, los términos como: presión, sección, fluido, densidad, sifón, canal, presa, salto hidráulico. Desde un punto de vista actitudinal: aprendizaje activo, desarrollo de las habilidades, fomento del trabajo en equipo y compromiso para tomar responsabilidades. Finalmente se obtendrá conocimiento procedimental mediante: diseño y construcción de un sifón y la obtención de datos relevantes a partir de planos antiguos.

Esta propuesta está diseñada para alumnos de 15-16 años que corresponde en el currículo a 4º de ESO. Los objetivos a alcanzar por estos alumnos serán:

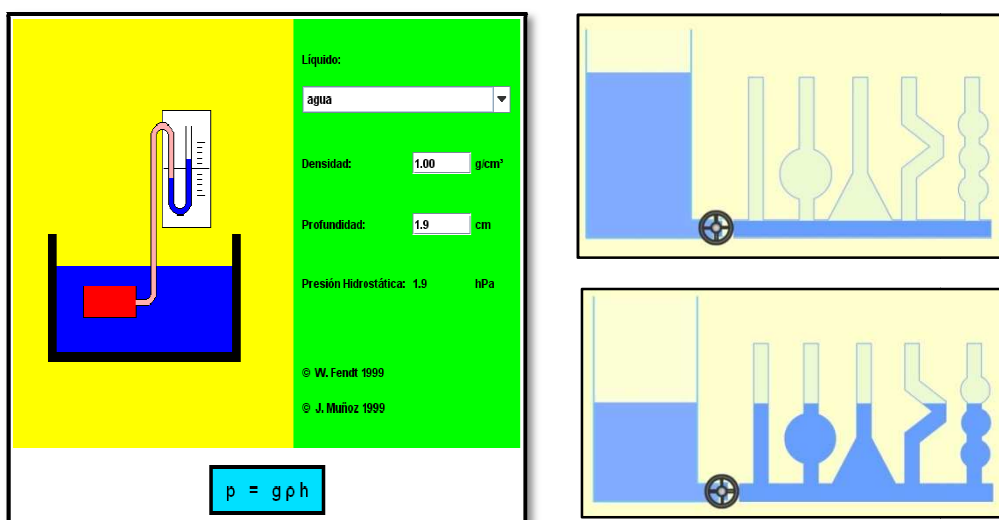
- ✖ Entender el funcionamiento físico de un sifón.
- ✖ Obtener datos para resolver y calcular secciones.
- ✖ Conocer y valorar la importancia del entorno físico más cercano.
- ✖ Conocer los motivos para la construcción de un sifón.
- ✖ Conocer y valorar las obras hidráulicas.

Las actividades estarán dispuestas en varias sesiones .La primera será de carácter introductorio y acercará a los alumnos al conocimiento de las presiones. Lejos de ser una sesión de carácter magistral, los alumnos trabajarán en grupos de 2-3 miembros, donde el docente proporcionará aplicaciones y otros recursos para que los alumnos investiguen sobre el fenómeno de la presión en los fluidos.

Ejemplos de las aplicaciones que se les proporcionarán serán:

<http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/presion.html>

[http://www.walter-fendt.de/ph14s/hydrostpr\\_s.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14s/hydrostpr_s.htm)



### *Aplicaciones que usarán los alumnos*

Al finalizar la sesión, a modo de recopilación de la información, el docente presentará un resumen con los principios básicos vistos y que se necesitarán en posteriores sesiones.

En la segunda sesión se propondrá un experimento, la realización por grupos de un sifón casero. Al final de la sesión se comentarán los resultados obtenidos. Para realizar la actividad será necesario disponer por equipos de dos recipientes de vidrio, es aconsejable que uno sea más largo que otro. Y un tubo de plástico que una vez cebado se colocará de forma que conecte los dos depósitos.



### *Experimento del sifón*

Algunas páginas web donde se dan las indicaciones para realizar un sifón.



<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/practica2/pajita/sifon/sifon.htm>

<http://fq-experimentos.blogspot.com.es/2007/12/un-sifn-casero.html>

En la siguiente sesión se realizará una visita guiada al sifón de Rioseco (Rionansa, Cantabria) donde el sifón se pondrá en contexto. Se hablará en primer lugar de por qué es necesaria la construcción del sifón, quién lo construye, por qué, cuáles son sus virtudes y defectos.

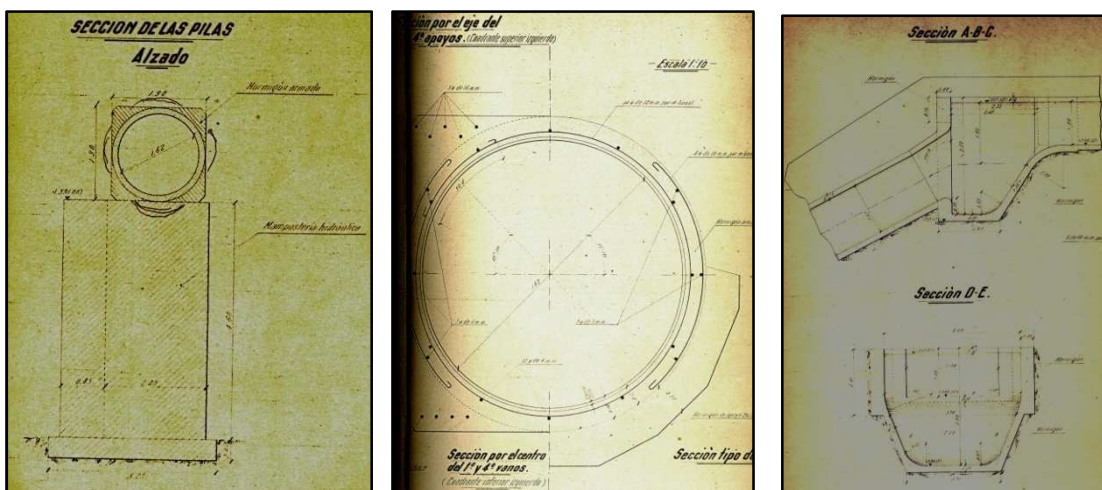
De aquí surgirá la necesaria explicación de las otras estructuras limítrofes que completan Los Saltos del Nansa. Así que se visitarán para completar la explicación el canal de Celis, la central hidroeléctrica de Bejo, la presa de La Cohilla y/o la presa de Palombera...



#### ***Vistas de algunas de las centrales del Nansa***

Se propondrá a los alumnos que realicen un trabajo en grupo. Deberán realizar una exposición ante sus compañeros sobre la obra o estructura que más les haya llamado la atención de la visita realizada. Además de su estructura y funcionamiento deberán incluir las ventajas e inconvenientes de la obra elegida.

En la siguiente sesión, se trabajará con los planos de la construcción del sifón. Se les entregará una copia con los planos del sifón y un cuaderno con las preguntas que tratarán de responder en grupos de trabajo de 2-3 alumnos. El cuaderno se entregará individualmente.



**Planos del sifón**

El cuadernillo tendrá preguntas relacionadas con los planos, un ejemplo de estas preguntas serán:

- ✖ ¿Cuántos  $m^3$  de agua puede alojar el sifón?
- ✖ ¿Cuánto pesaría todo esta agua?
- ✖ Y si en vez de agua dulce, el fluido fuese agua de mar ¿cuánto pesaría este fluido en el sifón?
- ✖ Si tuvieras que construir un sifón con los planos originales ¿cuánto hormigón necesitarías?
- ✖ ¿Por qué motivo el sifón se apoya en un acueducto? Si no hubiese un acueducto, ¿cuál sería la forma del sifón? Para esta actividad necesitarán la ayuda de material de dibujo y/o software matemático o de dibujo técnico (Geogebra, Autocad, material de dibujo...)

En la siguiente sesión se expondrán las presentaciones de los alumnos con las obras elegidas de la cuenca del Nansa.

La evaluación se llevará a cabo mediante la entrega del cuaderno de preguntas y la exposición de la obra hidráulica escogida. El cuaderno de preguntas se valorará individualmente hasta el 50% de la nota y la presentación se valorará en grupo con una nota de hasta el 50%.

## CONCLUSIONES

---

Con el sifón de Rioseco se demuestra que es posible llevar la realidad al aula. Las obras públicas aunque parezcan difíciles y diseñadas para un pequeño público tienen mucho potencial para enseñar contenidos del currículo de secundaria.

Para ello es necesario abordar el problema desde varias materias y hacer programaciones con puntos de contacto entre ellas mediante unidades didácticas integradas. El planteamiento de esta propuesta implica que se trabajen las ocho competencias básicas, priorizando autonomía e iniciativa personal, conocimiento e interacción con el mundo físico, social y ciudadana y matemática.

Los alumnos, al interaccionar directamente con el sifón usarán los recursos aprendidos en el aula para resolver un problema complejo. Al estudiar el sifón desde varias perspectivas les facilitará la visión global del problema. Aquí no se trata de resolver los habituales problemas del aula, sino estudiar el sifón como obra pública, patrimonio civil, principio físico, elemento del paisaje, elemento socio-cultural de una zona...

Con esta propuesta se consigue que los alumnos entiendan que los problemas se presentan ante nosotros enredados en varios contextos que están interrelacionados. Si extraemos parte de ese problema para exponerlo en una sola disciplina lo que conseguimos es desvirtuar la realidad y no podremos resolverlo.

En conclusión, cuanto más ahondemos en la interdisciplinariedad, más reales serán los problemas y ejemplos que pongamos a nuestros alumnos. Y si insistimos por este camino, poco a poco dejaremos atrás la pregunta de ¿y esto, para qué sirve?

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Acueducto.** Puente fijo para llevar conducciones de agua a cierta altura del terreno salvando las irregularidades de este.



**Aforo.** Medida del caudal de una corriente de agua.

**Azud.** Presa pequeña hecha en los ríos para elevar el agua a un nivel determinado.

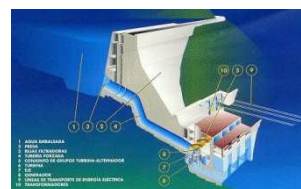


**Cajeros.** Paredes de un canal.



**Canal.** Cauce para la conducción de aguas. Acequia.

**Central hidroeléctrica.** Es una instalación que permite aprovechar la energía potencial gravitatoria (masa a una cierta altura) contenida en el agua de los ríos, al convertirla en energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas acopladas a



generadores eléctricos.

**Mampostería.** Fábrica de piedra sin labrar o groseramente labrada, aparejada en forma irregular.



**Mortero.** Argamasa o mezcla. Cal o cemento mezclado con arena y agua.



**Sifón.** Canal cerrado para hacer pasar el agua por un punto inferior a sus dos extremos.

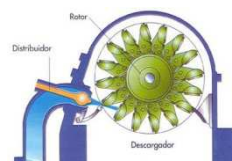


**Solera.** Es la superficie del fondo de un canal.

**Tubería forzada.** Es la tubería que lleva el agua a presión desde el canal o el embalse hasta la entrada de la turbina.



**Turbina.** Máquina destinada a transformar en movimiento giratorio, mediante una rueda de paletas, la energía cinética de un fluido.





## BIBLIOGRAFÍA

---

(Estepa), D. d. (s.f.). *El concepto de presión*. Recuperado el 7 de junio de 2013, de principio fundamental de la ecuación de fluidos:

<http://www.iesaguilarycano.com/dpto/fyq/presion.html>

Agazzi, E. El desafío de la interdisciplinariedad: Dificultades y logros. *Revista Empresa y Humanismo*, V (2/02), 241-242.

Alsina, C. (s.f.). *Geometría y realidad*. Recuperado el 27 de Mayo de 2013, de [http://www.upc.edu/ea-smi/personal/claudi/documents/geometria\\_realidad.pdf](http://www.upc.edu/ea-smi/personal/claudi/documents/geometria_realidad.pdf)

Balcells, M. C., & Aza, E. T. (1995). *La interdisciplinariedad en la educación secundaria obligatoria. Propuestas teórico-prácticas*. Zaragoza: INDE Publicaciones.

BOC. (10 de mayo de 2007). Decreto 57/2007. *Decreto 57/2007, currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en Cantabria*. Santander, Cantabria.

Camacho, M., Gámez, J. L., González, M. J., & Recio, T. (2009). Modelización matemática y contenidos matemáticos. En M. Camacho, & e. al, *Construcción de modelos matemáticos y resolución de problemas* (págs. 69-75). Madrid: Secretaria General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

Cañamero, A. (abril de 2006). *El rincón de la Ciencia*. Recuperado el 7 de junio de 2013, de Construcción de un sifón:

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/practica2/pajita/sifon/sifon.htm>

Escalera, M. D. (10 de Diciembre de 2007). *fq-experimentos. Experimentos caseros de Física y de Química*. Recuperado el 2013 de junio de 6, de Un sifón casero: <http://fq-experimentos.blogspot.com.es/2007/12/un-sifn-casero.html>

Fendt, W. (3 de febrero de 1999). *Applets Física*. Recuperado el 6 de junio de 2013, de Presión Hidrostática en Líquidos: [http://www.walter-fendt.de/ph14s/hydrostpr\\_s.htm](http://www.walter-fendt.de/ph14s/hydrostpr_s.htm)

Fernández, G. G., Izquierdo, M. A., & Martínez, A. I. (2009). *Cuenca del Nansa. Documento abierto participativo*. Recuperado el 28 de mayo de 2013, de <http://geoportal.medioambientecantabria.es/doc/cuenca/14/Documento%20Abierto%20para%20la%20cuenca%20del%20Nansa.pdf>

Gómez, J. (2008). La ingeniería como escenario y los modelos matemáticos como actores. *Modelling in Science Education and Learning*.

Gonzalez, M. J., Jara, P., Ortega, T., & Ruiz, J. F. (2009). Aspectos didácticos de la modelización matemática. En *Construcción de modelos matemáticos y resolución de*

*problemas* (págs. 275-283). Madrid: Secretaria General Técnica. Subdirección General de Documentación y Publicaciones.

*La modelización matemática y las aplicaciones. Problemas aplicados y de modelización.* (s.f.). Recuperado el 6 de junio de 2013, de La modelización matemática: aplicaciones en la Educación Secundaria:  
[www.cprceuta.es/CPPSXXI/Modulo4/Archivos/Matematicas/DOC\\_GONZ\\_MARI/MODELIZACION Y RESOLUCION DE PROBLEMAS/MODELIZACIÓN DOC.U. GRANADA/Problemas aplicados y de modelizacion.pdf](http://www.cprceuta.es/CPPSXXI/Modulo4/Archivos/Matematicas/DOC_GONZ_MARI/MODELIZACION_Y_RESOLUCION_DE_PROBLEMAS/MODELIZACION_DOC.U.GRANADA/Problemas_aplicados_y_de_modelizacion.pdf)

López, L. (2004). *Manual de hidráulica*. Alicante: Publicaciones Universidad de Alicante.

Luiña, M. (1906). Sifón de hormigón armado sobre el río Sosa y barranco de Ribabona. *Revista de obras públicas* , 109-117.

Lupiáñez, J., & Rico, L. (2008). Análisis didáctico y formación inicial de profesores: competencias. *PNA : revista de investigación en didáctica de la matemática* , 35-48.

Ministerio de Educación, C. y. (17 de mayo de 2013). Proyecto de Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa. España.

Puig, P. (1960). *La matemática y su enseñanza actual*. Madrid: Ministerio de Educación Nacional.

Recio, T. (2007). La ciencia invisible. *UNO. Didáctica de las Matemáticas* .

Rico, L. (2006). La competencia matemática en PISA. *PNA* , 47-66.

Ruiz Bedia, M. L. (2012). Catálogo del patrimonio industrial y de las obras públicas del valle del Nansa y Peñarrubia. Santander: Fundación Marcelino Botín.

Soldovieri, T. (2011). *Física general. Una introducción a los fluidos, vibraciones y termodinámica*. Recuperado el 5 de junio de 2013, de <http://www.cmc.org.ve/tswweb/documentos/ApuntesFisII.pdf>

Tipler, P. A. (1999 ). *Física* (Cuarta edición ed.). Reverte.

Watson, E. (1954). The invention of the siphon. *American Journal of Physics* , 390-393.

Zurita, J. (2000). *Diccionario Básico de la Construcción*. Barcelona: Grupo Editorial Ceac.