

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Guillermo Palau Salvador y al Dr. Jorge García-Serra García por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su dirección, tiempo durante el cual me han proporcionado toda la ayuda, consejos y enseñanzas que han mejorado mi formación académica y personal.

A Vicent Sales Martínez, Sergio Rojas Muñoz y a Vicent Mocholí por haberme facilitado la información pertinente para la posible realización del presente estudio.

A todos los compañeros y amigos que de un modo u otro han formado parte de mis decisiones, en especial a Beatriz Náchter, Fernando Baños, Jorge Sanchis, David Enamorado y Edgardo Tabora, por estar ahí siempre que los necesité.

A Vicenta María Riera Galán, por acompañarme durante todo este duro viaje, por sus opiniones, consejos, apoyo y comprensión.

A mi familia, por orientarme en su debido momento, por permitirme contar con ellos de manera incondicional y por ser partícipes, disfrutar y hacer posibles mis ilusiones.

ÍNDICE

I. Introducción.....	8
I.1 Historia de la Real Acequia de Moncada.....	8
I.2 Localización.....	9
I.3 Entorno.....	9
I.4 Tramos en la Real Acequia de Moncada.	10
I.5 Agua en la Real Acequia de Moncada.	13
I.6 Molinos en la Real Acequia de Moncada.	15
I.7. Hidrógeno	19
II. Antecedentes	26
III. Justificación y Objetivos.....	28
IV. Material y métodos.....	30
IV.1 Informantes claves	30
IV.2 Escenarios	30
IV.3 Consideraciones.....	31
IV.4 Cálculos	35
IV.5 Otras hipótesis	37
A) Ruedas hidráulicas con un rendimiento constante del 75%:.....	37
B) Turbinas hidráulicas con variación de caudal:	38
C) Turbinas hidráulicas con un rendimiento fijo del 85%:	40
IV.6 .Caso Piloto.....	41
V. Resultados y discusión	42
V.1. Emplazamiento y resultados	42
V.2. Situación para los últimos 25 años.....	60
V.3. Situación para época de sequía	62
V.4 Otras Hipótesis.....	63

A) Ruedas hidráulicas al 75% de su rendimiento:.....	63
B) Turbinas hidráulicas con variación de caudal:	66
C) Turbinas hidráulicas con un rendimiento fijo del 85%:	67
V.5. Caso Piloto	68
VI. Estudio Económico	70
VI.1. Con Ruedas Hidráulicas	70
VI. 2. Presupuesto con Ruedas hidráulicas	74
VI. 3 Con Turbinas	77
VI. 4. Presupuesto con Turbinas hidráulicas	78
VII. Conclusiones	81
VIII. Bibliografía	82
ANEJO I	85
ANEJO II	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los molinos en la RAM por tramos (Guinot <i>et Al.</i> 1999).....	13
Figura 2. Molino harinero (http://www.zagrilla.es , Noviembre 2012)	16
Figura 3. Molino arrocero (http://www.comunitatvalenciana.com , Noviembre 2012).16	
Figura 4. Molino Batán (http://www.scoop.it , Noviembre 2012)	17
Figura 5. Molino Papelero (http://www.scoop.it , Noviembre 2012)	17
Figura 6. Martinete (http://www.scoop.it , Noviembre 2012).....	18
Figura 7. Detalle de un electrolizador (Kai Zeng, Dongke Zhang, 2010).....	22
Figura 8. Pila de combustible (http://www.icma.unizar-csic.es , Diciembre 2012).....	25
Figura9. Campos de arroz de la comunidad de l'Estell i Rojass (http://fundacioassut.org . Enero 2012).	28
Figura 10. Esquema del proceso.....	31
Figura 11. Rueda supuesta en los molinos.	32
Figura 12. Detalle de funcionamiento de un molino de 3 ruedas hidráulicas.	33
Figura 13. Grupo bulbo de eje horizontal con Turbina Kaplan de palas orientables. ...	38
Figura 14. RAM a la salida de los molinos Testar y Escaleta	42
Figura15. Molino del Martinet	43
Figura 16. RAM a su paso por el molino Ferrando	44
Figura 17. Molino de la Tandra	44
Figura 18. Vieja fábrica.....	46
Figura 19. RAM a la salida del molino de Batán	46
Figura 20. RAM a su entrada en el molino de Bonany	47
Figura 21. RAM a su paso por el molino de Godella.....	47
Figura 22. RAM a su paso por el molino de Moncada.....	48
Figura 23. Molino de Alfara.....	49
Figura 24. Molino a su paso por Vinalesa.....	50
Figura 25. Molino de Albalat	51
Figura 26. Entrada a los cárcavos.....	51
Figura 27. RAM a su paso por el emplazamiento del molino de Museros	52
Figura 28. RAM a su paso por el molino de la Lloma.	53
Figura 29. RAM a su paso por el molino de la Magdalena.....	53
Figura 30. Molino de Capa.....	54
Figura 31. Molino dels Frares	56

Figura 32. Entrada a los cárcavos en el molino de los Frares	56
Figura 33. Molino de Puzol.....	57
Figura 34. RAM a su paso por los molinos de Puzol	57
Figura 35. Posible multiplicador de velocidad	70
Figura 36. Detalle de un multiplicador de velocidad	70
Figura 37. Posible alternador a utilizar.....	71
Figura 38. Alternadores de principios del siglo XX en una central hidroeléctrica.	71
Figura 39. Posible electrolizador	71
Figura 40. Posible compresor	72
Figura 41. Almacén de hidrógeno	72
Figura 42. Medidor de pH.	73
Figura 43. Ordenador sobremesa.....	73
Figura 44. Grupo Bulbo con turbina y generado.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de agua y saltos hidráulicos en los molinos de la RAM.....	14
Tabla 2. Datos del Hidrógeno (http://www.aeh2.org . Noviembre 2012)	20
Tabla 3. Comparativa del poder calorífico entre combustibles.....	22
Tabla 4. Resumen de los cálculos realizados.....	31
Tabla 5. Cálculos en los molinos Testar y Escaleta.....	42
Tabla 6. Cálculo en el molino Martinet.....	43
Tabla 7. Cálculo en el molino Ferrando.....	44
Tabla 8. Cálculo en el molino Tanderá.....	45
Tabla 9. Cálculo en el molino Cardona.....	45
Tabla 10. Cálculo en el molino Batán.....	46
Tabla 11. Cálculo en el molino La Peña.....	46
Tabla 12. Cálculo en el molino Bonany.....	47
Tabla 13. Cálculo en el molino Godella.....	48
Tabla 14. Cálculo en el molino Moncada.....	48
Tabla 15. Cálculo en el molino Alfara.....	49
Tabla 16. Cálculo en el molino Vinalesa.....	50
Tabla 17. Cálculo en el molino Frigola.....	50
Tabla 18. Cálculo en el molino Pallús.....	51
Tabla 19. Cálculo en el molino Albalat.....	52
Tabla 20. Cálculo en el molino Museros.....	52
Tabla 21. Cálculo en el molino La Lloma.....	53
Tabla 22. Cálculo en el molino Magdalena.....	54
Tabla 23. Cálculo en el molino Baix.....	54
Tabla 24. Cálculo en el molino Capa.....	55
Tabla 25. Cálculo en el molino Cartuja.....	55
Tabla 26. Cálculo en el molino Frares.....	56
Tabla 27. Cálculo en el molino Vila del Puig.....	56
Tabla 28. Cálculo en el molino Puzol.....	57
Tabla 29. Promedio del caudal para los diferentes periodos.....	57
Tabla 30. Tabla resumen ÚLTIMOS 25 AÑOS (1985-2010).....	58
Tabla 31. Tabla resumen en época de SEQUÍA (2004-2008).....	59

Tabla 32. Tabla resumen ÚLTIMOS 25 AÑOS con $\eta=75\%$ fijo.....	64
Tabla 33. Tabla resumen molino Martinet para diferentes hipótesis	67
Tabla 34. Datos de los consumos anuales de los motores de riego en L´estell y Rojas.	68
Tabla 35. Coste mano de obra	74
Tabla 36. Coste de los equipos	74
Tabla 37. Coste de los elementos de control	74
Tabla 38. Coste total de inversión.	75
Tabla 39. Coste mano de obra	78
Tabla 40. Coste de los equipos	78
Tabla 41. Coste de los elementos de control	78
Tabla 42. Coste total de inversión.	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Variación de caudal a lo largo del tiempo.....	15
Gráfico 2. Energía producida en cada molino en los últimos 25 años.	60
Gráfico 3. Hidrógeno producido en cada molino en los últimos 25 años.	60
Gráfico 4. Evolución caudal (promedio anual l/seg vs producción de hidrógeno (kg/año)).	61
Gráfico 5. Energía producida en cada molino para la época de Sequía	62
Gráfico 6. Hidrógeno producido en cada molino para la época de Sequía.....	62
Gráfico 7. Comparativa de los molinos con ruedas de rendimiento variable frente a rendimiento fijo	64

I. Introducción

En la presente introducción se describe brevemente el funcionamiento de los molinos en la RAM (evolución histórica de los molinos, derechos de usos históricos y actuales, localización, saltos hidráulicos, horas de agua...) y algunas de las características del hidrógeno para su posterior producción y almacenamiento.

I.1 Historia de la Real Acequia de Moncada

La Real Acequia de Moncada es uno de los sistemas hidráulicos más importantes de la Comunidad Valenciana, tanto por su extensión y organización como por su historia antigua. Sus orígenes son prácticamente milenarios ya que fue construida en la época islámica, y aunque a día de hoy, es imposible poner una fecha exacta de cuando fue construida y en qué condiciones, es razonable situar entre los siglos X y XI su origen siendo el mayor sistema hidráulico que se encontraron en funcionamiento los conquistadores feudales en el siglo XIII. El uso del término “real” la distingue de las otras de la huerta, y anima a pensar que se tratase de una acequia construida o controlada por los reyes musulmanes de la ciudad de Valencia (Guinot *et al.*1999).

Según diversos estudios, todo indica que a mitad del siglo XVII, la historia de la RAM tuvo un importante revulsivo, en unos años se realizó toda una revisión de legislación que se había ido acumulando a lo largo de los siglos anteriores, reuniendo acuerdos, decisiones y privilegios vigentes en una nueva recopilación documental, siendo la base del actual texto de las Ordenanzas, detallando por escrito todas y cada una de las tomas de agua, con sus respectivos nombres y volumen de agua que les correspondía. A lo largo del siglo XX entramos en la etapa de cambios más acelerados en la historia de la acequia, y no tanto por nuevas formas de organización o de plantear el sistema de riego, que también se han dado, sino porque a partir de los años cincuenta se entró en un proceso creciente y cada vez más acelerado de urbanización de la huerta de Valencia. Han crecido los pueblos sobre los campos regados, recortando una y otra vez la superficie tradicional de la huerta; se han construido polígonos industriales y una creciente red de carreteras que ha cambiado de forma importantísima el paisaje histórico de la acequia. Los viejos molinos, algunos convertidos en modernas fabricas

industriales de harina han ido cerrando uno tras otro, la tradicional acequia centenaria de tierra ha sido substituida por un cajero de hormigón, y está en marcha un ambicioso proceso de construcción de grandes balsas para regular el riego, ahorrar agua y evitar los turnos nocturnos (Soler, A. 2000).

I.2 Localización

La RAM se encuentra integrada en la comarca de L'Horta Nord, a unos 8 Km del norte de la ciudad de Valencia y a 7 km del litoral mediterráneo. El territorio de Moncada es básicamente plano y su orografía está entre los 25 y los 90 metros sobre el nivel del mar. Las cotas más elevadas se encuentran en la zona Oeste y en la Noroeste y las zonas más bajas se encuentran en la zona de la huerta.

La RAM se divide en cuatro tramos, los cuales se detallarán más adelante, iniciándose en el municipio de Paterna y finalizando en el término de Puzol, con un recorrido total de 33km aproximadamente (Guinot, E. 2007).

I.3 Entorno

En cuanto al entorno de la RAM, si nos referimos a la geología de los espacios irrigados; los suelos regados por la RAM que se pueden observar actualmente, se establecieron sobre arcillas y limos del cuaternario. Existen, aunque de forma escasa, formaciones calizas y areniscas, situadas en el margen izquierdo del área dominada por la RAM, la cual deriva sus brazales hacia la derecha, en dirección al mar. Sólo en contadas ocasiones, y para conseguir mantener la cota de nivel, el canal atraviesa alguna de esas zonas marginadas del riego (formaciones calizas y areniscas). Por otro lado, si el canal se ve obligado, debido a su construcción, a adentrarse en zonas de arcillas y limos, se producen derivaciones de la RAM también por la izquierda, buscando el aprovechamiento de esas tierras para el riego (Soler, A. 2000).

En cuanto a los tipos de suelos existentes dentro del sistema hidráulico, si se observa desde un punto de vista físico, los tipos de suelos del área regada por la RAM, van

desde los arenosos hasta los arcillosos, con situaciones intermedias de suelos limosos. Si hablamos desde un punto de vista químico, estos suelos se caracterizan por su alcalinidad, especialmente en suelos arenosos. La conductividad eléctrica, indicadora de la presencia de cloruros, es alta, además estos suelos presentan altos contenidos en carbonatos y buenos niveles de fósforo, potasio y magnesio. Por lo que disponemos de tierras aconsejables para prácticamente cualquier cultivo (Soler, A. 2000).

Por lo que respecta al clima, la precipitación anual sobre los espacios dominados por la RAM supera apenas los 400 mm y el volumen total de precipitaciones correspondientes a los meses de la estación de otoño (septiembre, Octubre y Noviembre) representan algo más del 40% de las precipitaciones totales anuales, por lo que observamos una gran irregularidad de las precipitaciones. Las temperaturas medias anuales se sitúan en los 17°C, con una ligera tendencia a la baja en las zonas situadas más al norte, siendo el mes con menores temperaturas, el mes de enero, con una media de 10°C aproximadamente, y el de mayores temperaturas, el mes de agosto, con una media de 24°C. Existe un alto déficit de agua debido a la alta evotranspiración que existe en la zona y la escasez de precipitaciones, ligeramente paliada por la alta humedad ambiental (Guinot, E. 2007).

I.4 Tramos en la Real Acequia de Moncada.

El perímetro dominado actualmente por la Real Acequia de Moncada, esto es, la superficie susceptible de ser regada por sus aguas, es prácticamente el mismo que abarcara hacia el final del periodo musulmán. Ya en aquel momento el canal derivaba las aguas del Turia en paterna y las conducía hasta Puzol. Cuestión aparte sería determinar en qué medida ese perímetro dominado estaba equipado inicialmente para ser irrigado de forma efectiva, pues de hecho muchas zonas de la huerta tienen un riego autónomo a partir de fuentes naturales, como sucede en los extremos que se extienden al norte del barranco del Carraixet, y su incorporación posterior en el sistema de la acequia no responde tanto a un proceso de puesta en valor de las tierras cuanto a un ejercicio de integración de la red hidráulica (Sales Martínez, V. 1986).

El trazado de la acequia de Moncada tiene un recorrido extenso que supera los 33 Km., a lo largo de los cuales se observa cómo se modifica la forma de las riberas y los paisajes circundantes, o los cambios que existen en la dedicación de los recursos hidráulicos. Todo ello permite hablar de cuatro tramos diferentes, bien caracterizados cada uno de ellos por su orografía, sus suelos o el tipo de explotación del agua de la acequia (Sales Martínez, V. 1986).

Dentro del regadío de la RAM, se distinguen cuatro espacios con diferentes características geográficas:

➤ **El primer tramo: del Sequier**

El primer tramo, conocido como el tramo *'del sequier'*, corresponde a un tramo de canal principal que se caracteriza por carecer de derivaciones para el riego de los espacios contiguos al canal. La función de esta 'cabeza muerta' es derivar el agua del río Turia mediante un azud de piedra y conducirla aguas abajo. En este tramo el canal principal discurre paralelo al río y existen compuertas laterales o 'almenaras' que permiten devolver el agua al río (Guinot *et Al.* 1999, Sales Martínez 1986).

➤ **El segundo tramo: Dels Molins**

El segundo tramo se conoce como el tramo *'dels molins'* pues se caracteriza por la presencia de numerosos molinos debido a que la fuerte pendiente existente propició el aprovechamiento de este potencial hidráulico (Guinot *et Al.* 1999, Sales Martínez 1986).

➤ **El tercer tramo: l' Arc de Moncada.**

El tercer tramo se denomina 'l'arc de Moncada', pues la superficie que permite regar el canal se agranda formando una gran curva en el tramo que recorre desde Godella a Alfara del Patriarca, donde el barranco del Carraixet establece el límite a este tramo. La peculiaridad de este espacio es que presenta una morfología cóncava como resultado del encuentro de las planas aluviales del Turia y el Carraixet. La red de canales secundarios presenta una distribución convergente, "como radios de un semicírculo" que convergen a la altura de Carpesa La zona presenta un difícil drenaje por ello se conoce como la 'marjal de Moncada' (Guinot *et Al.* 1999, Sales Martínez 1986).

➤ **El cuarto tramo: *Jovedat* frente a *Extremal*.**

Tras cruzar el barranco del Carraixet mediante un sifón, ‘el cano’, se encuentra el último tramo de la acequia, el del ‘jovedat vs. extremal’. En esta zona se han diferenciado de forma tradicional dos espacios con diferentes derechos de agua, el ‘jovedat’ y el ‘extremal’. El ‘jovedat’ era el área que contaba con plenos derechos de agua, mientras que el ‘extremal’, aún estando comprendido dentro del perímetro regable por la RAM, carecía de derechos. La concesión de derechos al ‘extremal’ se produce en el pasado reciente de la historia de la acequia, aunque el proceso de inclusión de estas tierras no ha sido estudiado en detalle. En 1863 la superficie de regadío de la RAM comprendía 3.910 ha, sin embargo en el periodo 1971 la superficie regable total era de 7.312 ha tras haberse incluido 3.216 ha de antiguos ‘extremales’ (GVA 2010a). La inclusión de estas tierras sin derecho previo dentro de la RAM supuso un incremento de algo más del 100% de la superficie regable de la RAM (Sales Martínez 1988).

En el año 2004 la superficie regable se ha visto reducida a 5.210 ha por lo que el área regada es actualmente el 73% del área regable en 1971 (GVA 2010a).

El riego de la RAM finaliza en el término de Puzol, aunque el canal principal continúa en término colindante (Sagunto). Sin embargo, como estas tierras no tienen derecho a riego, este canal nunca lleva agua en Sagunto.

Este tramo se caracteriza por su escasa pendiente, que tan solo ha permitido la existencia de un molino sobre el cajero principal, el de la Lloma en Massamagrell.

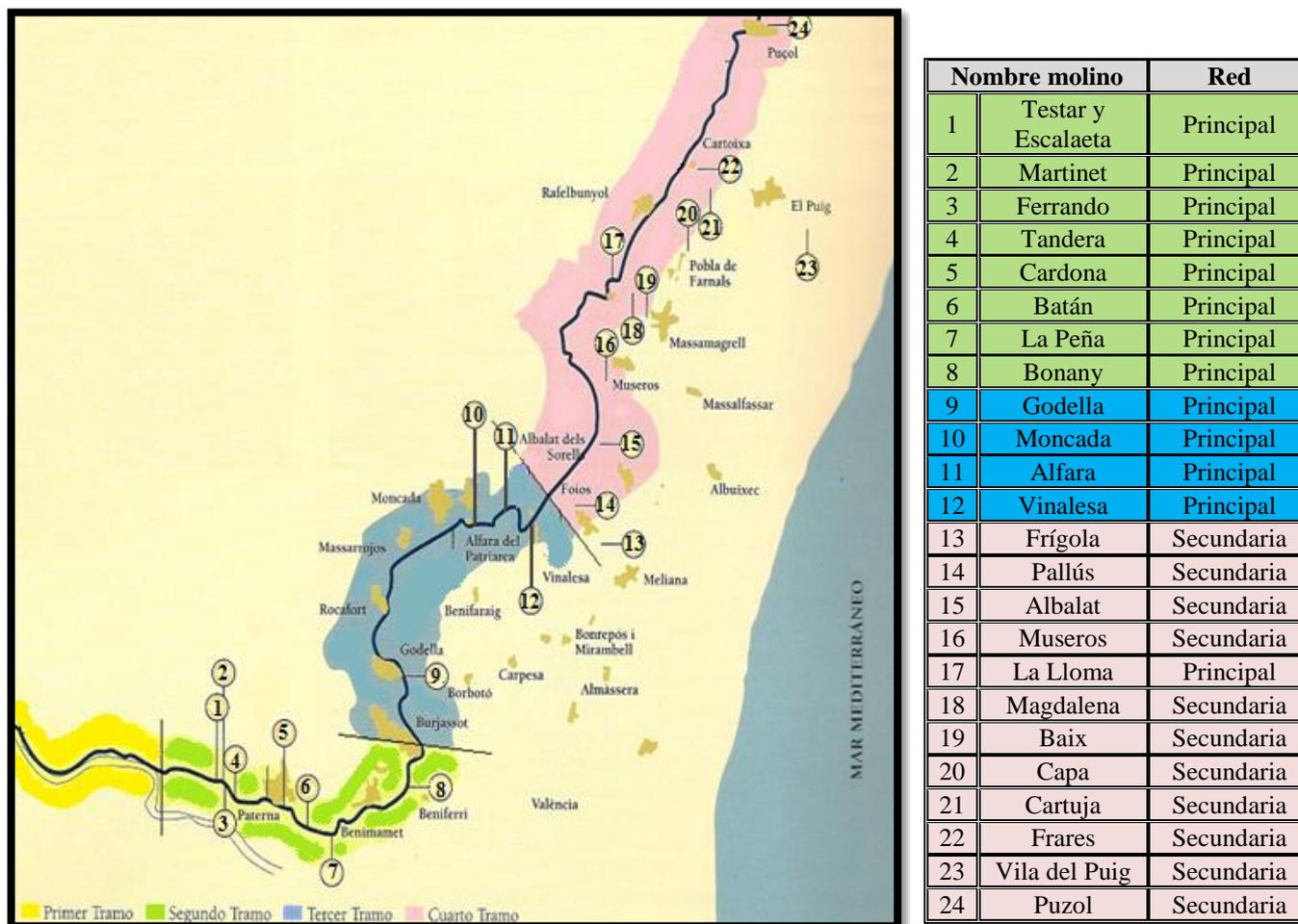


Figura 1. Distribución de los molinos en la RAM por tramos (Guinot *et Al.* 1999)

I.5 Agua en la Real Acequia de Moncada.

La base del funcionamiento de cualquier sistema hidráulico es un reparto equitativo, ordenado y pactado del agua entre los regantes, así como la regulación de su uso por las instalaciones molineras situadas en su cauce. En la actualidad el riego en la RAM funciona mediante un sistema basado en turnos estrictos dirigidos por el “Sequiere Mayor” y llevados a cabo por los regadores oficiales. Las obligaciones de los regantes con el sistema de riego, son de dos tipos: unas referidas al mantenimiento físico del sistema y otras referidas a su mantenimiento económico. Las primeras se concretan en la limpieza de los brazales y del canal principal. La limpieza y mantenimiento de los brazales está organizado de tal manera que en raras ocasiones queda algún tramo de

acequia o de desagüe sin desbrozar y limpiar. Estas operaciones se realizan al menos tres veces al año, sin fecha fija y cuando la Junta de Gobierno cree conveniente. Se da de plazo unos veinte días, concluido este tiempo, el guarda correspondiente vigila que se haya realizado la limpieza, en caso negativo, se le avisa, y si continua sin limpiar, se le sancionará y la limpieza irá a cargo por personal al servicio de la RAM. (Guinot *et Al.* 1999)

En cuanto a los días de agua de que dispone cada molino y el salto hidráulico de éstos se muestran en la siguiente tabla. (comunicación verbal, Lic. Vicent Sales, noviembre 2012):

	Molinos	Días por semana de paso de agua	Hm³ anuales (promedio 25 años)	Salto (h) en m
1	Testar y Escalaeta	7	76	2.5
2	Martinet	7	76	2.9
3	Ferrando	7	76	2.8
4	Tandera	7	76	2.5
5	Cardona	7	76	2
6	Batán	7	76	2.3
7	La Peña	7	76	1.8
8	Bonany	7	76	1.5
9	Godella	6	65	1.5
10	Moncada	6	65	1.6
11	Alfara	6	65	1.8
12	Vinalesa	6	65	1
13	Frígola	1	11	1.2
14	Pallús	1	11	1.4
15	Albalat	1	11	1.2
16	Museros	4	54	1.3
17	La Lloma	4	54	1.5
18	Magdalena	4	54	1.2
19	Baix	1	11	1
20	Capa	1	11	1
21	Cartuja	1	11	1.2
22	Frases	1	11	1.2
23	Vila del Puig	1	11	1.3
24	Puzol	1	11	1

Tabla 1. Distribución de agua y saltos hidráulicos en los molinos de la RAM.

Para el cálculo de producción de hidrógeno, se ha tenido en cuenta que no todos los molinos tienen agua los siete días de la semana; para que un molino esté en funcionamiento debe llegar el agua al molino que se encuentre aguas abajo de éste.

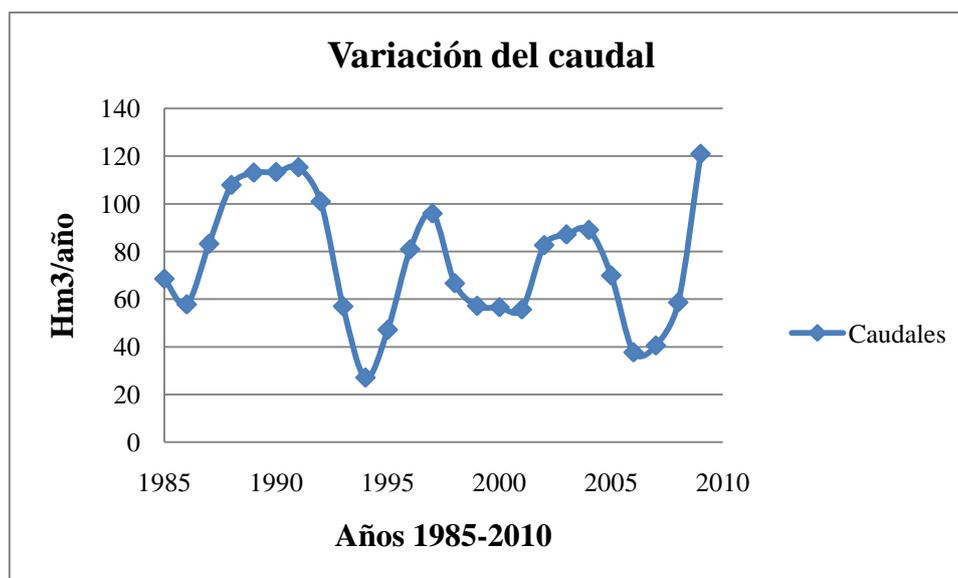


Gráfico 1. Variación de caudal a lo largo del tiempo.

I.6 Molinos en la Real Acequia de Moncada.

Existe gran diversidad de molinos en la RAM, ya sea por su estructura, tamaño o número de muelas, o bien, por sus funciones y usos, aunque la diferencia fundamental se encuentra en la localización de los molinos, si éstos están sobre el cajero principal de la acequia, siempre tendrán agua, o si se encuentran sobre los ramales secundarios, disponiendo de agua sólo los días que toca regar el lugar donde se encuentra el respectivo ramal secundario.

Los diferentes tipos de molinos que se pueden encontrar (o podían, muchos de ellos han desaparecido como tal) en la RAM se describen a continuación:

El **molino harinero tradicional**; éstos se accionan mediante una rueda horizontal (rodete). La energía hidráulica se convierte en fuerza motriz al incidir sobre el rodete y hacerlo girar, prolongando el movimiento de rotación a la muela superior. Su función básica es moler y triturar el grano para convertirlo en harina mediante la fricción que la muela superior y móvil realiza sobre la muela inferior que se encuentra situada en un banco de obra. El molino harinero dispone de una sala de muelas donde se desarrolla la función de moler el grano. Aquí se encuentran las piedras junto con la tolva, que era

donde se depositaba el grano para que cayera al centro de las muelas, y la harinera, donde se recogía la harina que salía de entre las muelas (Barberá, B, 2002).



Figura 2. Molino harinero (<http://www.zagrilla.es>, Noviembre 2012)

En cuanto al **molino de arroz**, su proceso y mecanismo de molturación es muy similar al de trigo, por lo que han compartido en muchas ocasiones el emplazamiento y edificio con los molinos harineros, teniendo en cuenta que las muelas son fácilmente intercambiables. El grano se deposita en una tolva y va cayendo entre dos muelas, una fija y la otra móvil, que son de menor grosor y diámetro que las harineras, obteniéndose el arroz descascarado; la fuente de energía que utilizan es la hidráulica. (Barberá, B, 2002).



Figura 3. Molino arrocero (<http://www.comunitatvalenciana.com> , Noviembre 2012).

El molino batán: si las telas, mantas o paños tejidos en los telares debían tener una mayor resistencia, se les sometía a una nueva operación denominada: abatanado. Este proceso se realizaba mediante mazas que iban golpeando sistemáticamente el tejido sumergido en unas pilas. Para generar el movimiento cíclico de las mazas se

aprovechaba la energía hidráulica, la corriente de agua ponía en funcionamiento una rueda que transmitía el movimiento de rotación, mediante engranajes, a un eje o árbol que accionaba las mazas de forma cíclica. La fuerza necesaria para mover las rudas hidráulicas requería, para un correcto funcionamiento, cantidades de agua elevadas y regulares, hecho que condicionó su instalación en determinadas partes del trazado de la RAM, sobre todo en los primeros tramos. (Barberá,B, 2002).



Figura 4. Molino Batán (<http://www.scoop.it>, Noviembre 2012)

El molino paplero. El papel se obtiene a partir de la pasta de fibras vegetales que se consiguen básicamente de la madera y los trapos, estos últimos necesitaban ser desmenuzados en pilas mediante mazas, con lo que había que utilizar ruedas hidráulicas que generasen movimientos rotatorios que impulsaran a las mazas.



Figura 5. Molino Paplero (<http://www.scoop.it>, Noviembre 2012)

El martinete, que aunque no se trata de un molino, sino más bien de una forja para moldear y compactar metales mediante presión y percusión continuada, está diseñado para utilizar la energía hidráulica en el trabajo forja. Se trata de un martillo pesado, que

cae sobre un yunque dispuesto sobre un bloque de madera. El martillo se monta sobre una palanca oscilante alrededor de un eje horizontal. Este martillo es accionado mediante unas levas que giran conducidas por un árbol horizontal que se apoya contra el extremo libre de la palanca a cada vuelta del árbol, y deja caer el martinete, liberándolo. El árbol de levas está accionado por una noria vertical.

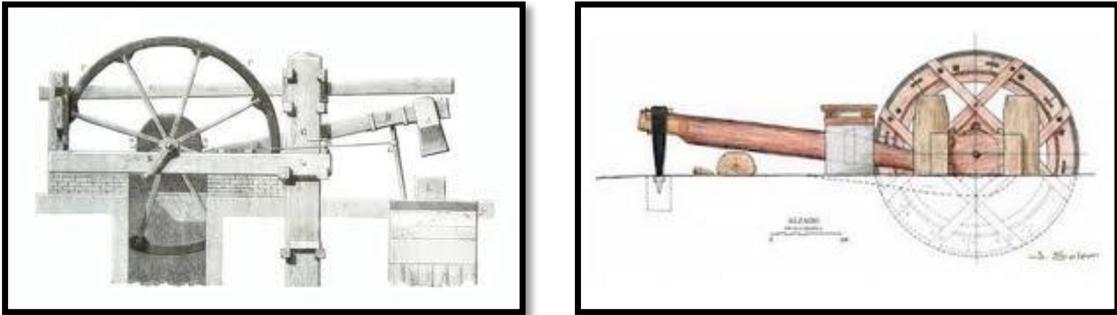


Figura 6. Martinete (<http://www.scoop.it>, Noviembre 2012).

I.7. Hidrógeno

La molécula de hidrógeno se compone de dos átomos de hidrógeno y es la más básica de todas las moléculas. El átomo de hidrógeno está formado por un núcleo con carga positiva y un electrón. A temperatura ambiente y bajo presión normal, el hidrógeno es un gas inodoro e incoloro, no venenoso más ligero que el aire y helio. El hidrógeno arde con un azul pálido con llama casi invisible y que a temperaturas por debajo de -253°C se encuentra en estado líquido (King, 2000).

El hidrógeno fue identificado como un material base por H. Cavendish (1731-1810) y es el material base más común en el universo siendo la principal sustancia que se encuentra en el sol y las estrellas. En la Tierra prácticamente todo el hidrógeno se encuentra junto a otros elementos, reaccionando muy rápidamente con el oxígeno para crear agua, cuya molécula se compone de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, los océanos del mundo, por lo tanto, constituyen un enorme almacén de hidrógeno. El hidrógeno es también una parte importante de toda la materia orgánica, esto incluye vegetales, animales, y la materia fósil. (Brady, 2000).

Como se ha mencionado, el hidrógeno se encuentra en grandes cantidades en la tierra (presente en la materia orgánica) y en el agua. Como sabemos, más del 70% de la Tierra está cubierta de agua, por lo que el porcentaje de hidrógeno en el agua es de aproximadamente del 11% en peso, lo cual representa un oferta abundante (Gamallo, F., 2001).

Para el proceso de desglose del agua en hidrógeno y oxígeno requerimos de energía, por lo que el calor, la electricidad, la energía química pueden ser utilizados para este propósito; pero si utilizamos energía renovable para dicho proceso, como puede ser la generada por los molinos estudiados, el hidrógeno resultante también será un portador de energía limpia y renovable (Gamallo, F., 2001).

LOS NÚMERO DEL HIDRÓGENO	
Densidad:	0,0899 kg/Nm ³ (gas)
	0,0708 kg/l (liquido)
Poder calorífico inferior:	120 MJ/kg
Poder calorífico superior:	141,86 MJ/kg
Límites de explosión:	4,0 - 75,0 % (concentración de H ₂ en aire)
Límites de detonación:	18,3 - 59,0 % (concentración de H ₂ en aire)
Capacidad calorífica específica:	C _p =14,199 KJ/(kg·K)
	C _v =10,074 KJ(kg·K)
Coefficiente de difusión:	0,61 cm ² /s

Tabla 2. Datos del Hidrógeno (<http://www.aeh2.org>. Noviembre 2012)

La venta de hidrógeno se ha incrementado en un 6% anual en los últimos cinco años, esto está estrechamente relacionado con el aumento del uso de hidrógeno en refinerías de petróleo. El hidrógeno se puede derivar de una serie de diferentes hidrocarburos a través de diversas técnicas, y si éste es producido a partir de de carbón, petróleo o gas natural, los subproductos supondrán un impacto negativo en el medio ambiente si no se manejan de una manera ambientalmente responsable, por lo que la opción de obtener el Hidrógeno a partir del agua en los molinos resulta muy ventajosa desde el punto de vista ambiental (Gaudernack, 1998).

Muchas fuentes de energía renovables varían considerablemente en una base diaria y estacional por lo que un sistema de energía basado en estas fuentes debe ser capaz de almacenar la energía para equilibrar dichas variaciones, del mismo modo, la gran distancia, generalmente observada entre las fuentes de energía y los consumidores, requiere el transporte de la energía, por tanto puede resultar práctico convertir la energía en hidrógeno, ya que este se puede almacenar. (Gaudernack, 1998).

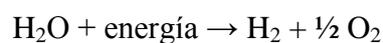
El Hidrógeno puede almacenarse distintas formas (Mayersohn, Norman S. (1993):

- En tanques de gas comprimido: Los nuevos materiales han permitido fabricar tanques de almacenamiento que pueden contener hidrógeno a presiones

extremadamente altas. En la actualidad, los costes de los tanques y de compresión es alta, pero la tecnología está disponible.

- El hidrógeno líquido: La condensación del hidrógeno gas en líquido permite una mayor cantidad de hidrógeno para ser almacenados y transportados. Sin embargo, la conversión de gas de hidrógeno a hidrógeno líquido es costosa y requiere un gran aporte de energía.
- Hidruros químicos: Varios metales puros o aleados se pueden combinar con hidrógeno, produciendo hidruros metálicos estables. Los hidruros se descomponen cuando se calientan, liberando el hidrógeno. El hidrógeno se puede almacenar en la forma de un hidruro a mayores densidades que por la compresión simple. El uso de este sistema de almacenamiento seguro y eficiente depende de la identificación con un metal de operación con suficiente capacidad de adsorción bajo rangos de temperatura apropiadas.
- Microesferas: Se pueden emplear pequeñas esferas de vidrio huecas para almacenar hidrógeno de forma segura. Estas esferas de vidrio se calientan, la permeabilidad de sus paredes se incrementa, se llenan por inmersión gas Hidrógeno de alta presión. A continuación, las esferas se refrigeran hasta temperatura ambiente y el hidrógeno queda retenido en su interior. Un incremento posterior en la temperatura libera el hidrógeno encerrado en estas esferas.

Para poder producir hidrógeno, se utiliza el proceso de electrolisis del agua, realizado mediante un electrolizador, que consiste en la descomposición de agua (H₂O) en los gases oxígeno (O₂) e hidrógeno (H₂) por medio de una corriente eléctrica a través del agua (Kai Zeng, Dongke Zhang, 2010).



Una fuente de energía eléctrica se conecta a dos electrodos, o dos platos (típicamente hechos de algún metal inerte como el platino o el acero inoxidable), los cuales son puestos en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el

cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los electrones son bombeados al agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado). El volumen de hidrógeno generado es el doble que el de oxígeno, y ambos son proporcionales al total de carga eléctrica que fue enviada por el agua. Sin embargo, en varias celdas las reacciones del lado competidor dominan, resultando en diferentes productos (Kai Zeng, Dongke Zhang, 2010).

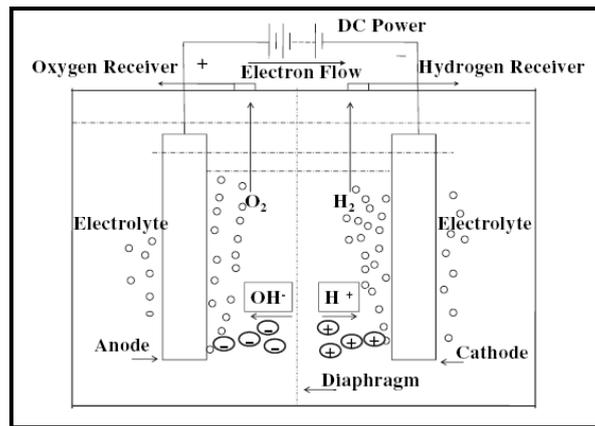


Figura 7. Detalle de un electrolizador (Kai Zeng, Dongke Zhang, 2010)

El hidrógeno se trata de un combustible que puede ser capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible conocido: 33,3 Kwh por kg, frente a los 13,9 Kwh del gas natural o los 12,4 Kwh del petróleo, por ejemplo. (Gaudernack, 1998).

En la siguiente tabla se muestra el poder calorífico de distintos combustibles:

COMBUSTIBLE	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)
Hidrógeno	141,9	120
Propano	50,4	46,3
Butano	49,5	45,6
Petróleo	44	41,8
Gas Natural	44	39,9
Gas Ciudad	28	26

Tabla 3. Comparativa del poder calorífico entre combustibles.

Se trata también de un combustible limpio, que, cuando se quema, lo único que produce, además de energía, es básicamente vapor de agua, librándonos, entre otras, de las emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero. Y si además contamos

con la pila de combustible el hidrógeno es, además, un intermediario energético eficiente y tan versátil como la electricidad. El hidrógeno, al igual que la electricidad, puede obtenerse a partir de un amplio abanico de recursos naturales utilizando prácticamente cualquier fuente de energía, en este caso la energía hidráulica, con lo que no haría falta importarlo (Gaudernack, 1998). Pero, por encima de todo, el hidrógeno puede almacenarse, y esta capacidad de servir de almacén de energía es la que convierte al hidrógeno en el complemento ideal de las energías renovables, y en nuestro caso, al producirlo y almacenarlo, lo podríamos utilizar después en una pila de combustible para producir electricidad y utilizarla, por ejemplo, en los motores de riego de l'Albufera.

Si quisiéramos almacenar, 10.000 Kg/año de hidrógeno, que en condiciones normales son unos 110.891 Nm³ -el volumen de almacenamiento dependerá de la tecnología que utilicemos, pero dada la baja densidad del H₂ éste nunca se almacenará a presión atmosférica- obtendríamos unos volúmenes de las siguientes magnitudes (Comunicación verbal, Lic. Sergio Rojas, Diciembre 2012)).

Gas a presión a temperatura ambiente (25°C):

- Estándar de 200 bar: 680 Nm³
- Estándar de 350 bar: 420 Nm³
- Estándar de 700 bar (en desarrollo): 250 Nm³
- Hidrógeno líquido (densidad 0,071 Kg/L): 140 Nm³
- Hidruro metálico (el más sencillo, Mg, 15 L/KgH₂): 150 Nm³ (con otros hidruros más avanzados este valor puede ser la mitad).

Por otra parte no tendría sentido (comercial) almacenar hidrógeno (ni ningún otro combustible) para un año, por ello el depósito no tiene que ser tan grande, ya que el hidrógeno se irá acumulando y consumiendo a la largo del año, esto sería el volumen acumulado lo largo del año si no consumiéramos nada. Hay que considerar además que parte de la energía se gasta en presurizar el gas, o formar el hidruro, o licuarlo (este último es el método más costoso, se pierde hasta el 30% de la energía) (Comunicación verbal, Lic. Sergio Rojas, Diciembre 2012).

Una forma de poder utilizar el hidrógeno es usando Pilas de combustible, esto es, una especie de batería de alta tecnología que convierte la energía química del combustible que la alimenta en energía eléctrica. Pero a diferencia de una batería que almacena en su interior la energía química que convierte en electricidad y cuando se termina esa energía química, la batería se tira; o, en el mejor de los casos, se recarga en un largo y tedioso proceso; la pila de combustible, convierte en electricidad la energía química de un combustible que recibe del exterior y es capaz de suministrar energía eléctrica de forma continua mientras se mantenga el aporte de este combustible. Uno de los reactivos de la pila es siempre el oxígeno, que actúa como oxidante en el cátodo y que, dada su disponibilidad en el aire, generalmente no es necesario almacenar. El combustible propiamente dicho es habitualmente el hidrógeno, que alimenta la pila. La mayoría de las pilas de combustible son, en realidad, una suma de pilas individuales, que reciben el nombre de células o celdas de combustible. Una célula de combustible consta de dos electrodos, ánodo (-) y cátodo (+) –ambos con cierto contenido de platino– separados por un electrolito sólido o líquido (Mosquera, P. *et Al.* 2006).

En uno de los tipos más conocidos y sencillo de pila, el electrolito es una membrana. En el ánodo se produce la reacción del hidrógeno, que se disocia en 2 protones y 2 electrones. Los protones o iones positivos de hidrógeno circulan a través de la membrana hasta el cátodo, mientras los electrones, que no pueden atravesar la membrana, se escapan por un circuito eléctrico que conecta los dos electrodos. Este flujo de electrones es la corriente eléctrica que alimentará, por ejemplo, el motor eléctrico de un coche. Una vez atravesado el circuito, los electrones entran en el cátodo, donde se combinan con los protones y el oxígeno del aire para formar agua (Mosquera, P. *et Al.* 2006).

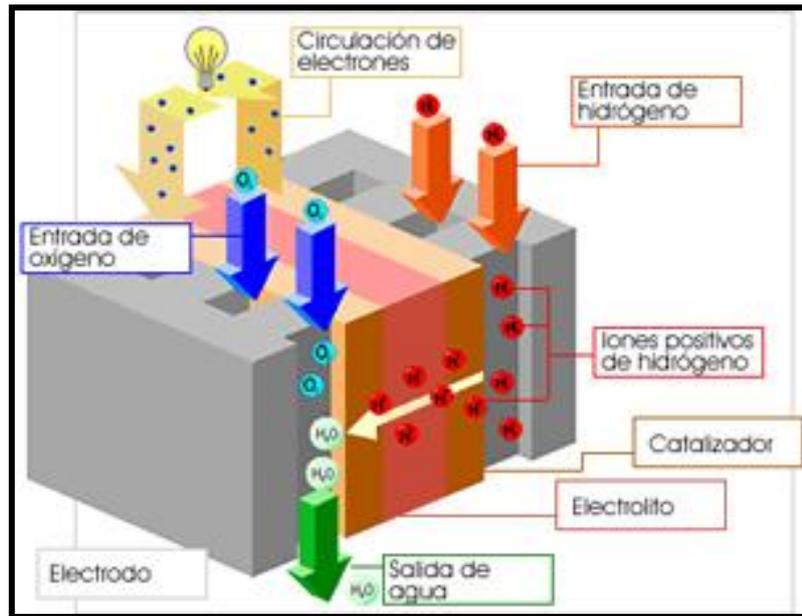


Figura 8. Pila de combustible (<http://www.icma.unizar-csic.es>, Diciembre 2012)

Además, el hidrógeno producido también se podría usar, por ejemplo, en un motor de combustible interno (MCI) como combustible, bien para generar electricidad en un generador movido por dicho MCI o bien para, directamente, hacer girar el motor para accionar una bomba.

Para nuestros cálculos en el caso piloto, se optó por utilizar las pilas de combustible.

II. Antecedentes

En todo el mundo se cuenta con extensas redes de canales de riego que podrían ser utilizadas para generar una cantidad significativa de energía hidroeléctrica que a su vez podría ser transformada en hidrógeno. A medida que el mundo trata de ser menos dependientes de los recursos energéticos a base de carbono, la energía hidroeléctrica a pequeña escala (EHPE) es un recurso atractivo potencial para el desarrollo de nuevas energías (Gensler, D. & Kinzli, K. 2011).

Según un estudio realizado por los ingenieros Gensler, D y Kinzli, K; *Viabilidad de la generación de energía en los canales de riego*. “The Middle Rio Grande Conservancy District” (MRGCD); el centro de Nuevo México tiene una extensa red de canales y la energía hidroeléctrica está siendo considerada como una forma viable de energía renovable. En la actualidad, la MRGCD ha identificado y categorizado nueve sitios hidroeléctricos potenciales dentro de su sistema con el objetivo de maximizar su contribución a las necesidades energéticas de la región. Con la plena aplicación durante todo el año de la generación de energía hidroeléctrica a pequeña escala en las nueve ubicaciones que investigó el MRGCD, podría tener una capacidad de generación de 2.2MW y producir más de 10 millones de Kwh anuales. Esto representa un ingreso de generación de energía para el MRGCD de, aproximadamente, 775.000 €. Por otro lado, la implementación de la energía hidroeléctrica a pequeña escala, daría lugar a 1340 viviendas que funcionarían con energía limpia y renovable sin afectar al riego (Gensler, D. & Kinzli, K. 2011).

Como se ha comentado anteriormente, esta energía eléctrica, al ser transformada en hidrógeno, se podría almacenar, y por tanto, ser utilizada en cualquier otra parte.

El hidrógeno es una materia prima utilizada ampliamente en la industria, en particular en la industria química (amoníaco y síntesis de metanol) y la industria de la refinación (hidro-tratamientos por hidrogenación de hidrocarburos insaturados e hidro-sulfuración), además de usarse en la industria aeroespacial y las industrias de la alimentación (Curtis-Thomas, Claire 2012).

El hidrógeno se puede usar para proporcionar electricidad y calor a través de su uso en pilas de combustible, o a través de la combustión en un motor de combustión interna (MCI). Como ya se ha comentado, las pilas de combustible generan electricidad a partir de una reacción electroquímica, donde el oxígeno y el hidrógeno se combinan para formar agua. La electricidad producida por la reacción se puede utilizar en muchas aplicaciones portátiles, estacionarios y de transporte, y el calor producido como un subproducto también se puede utilizar para calefacción y refrigeración (<http://www.fuelcelltoday.com>, Diciembre 2012).

Las pilas de combustible se pueden “unir” para generar más potencia en función del requisito de la aplicación, sin embargo, el coste de construcción de una pila de combustible es todavía relativamente caro en comparación con el (MCI) (Curtis-Thomas, Claire. 2012).

Como combustible para el transporte, el hidrógeno se puede utilizar en vehículos de combustión interna (HVCI) y en vehículos mediante pilas de combustible (HPC). El uso del hidrógeno en los motores de combustión interna es muy similar a los motores de gasolina que tenemos en nuestros vehículos hoy en día, pero con ligeras modificaciones. Según diversas investigaciones, el hidrógeno se quema mucho más limpio y mejora la eficiencia en un 20% en comparación con el uso de petróleo que hace del HVCI una opción de transición realista a corto plazo. A más largo plazo, el HPC en los vehículos, que es probable que sea la tecnología más popular para el transporte, principalmente porque las células de combustible generan electricidad a bordo del vehículo (Curtis-Thomas, Claire 2012) (<http://www.fuelcelltoday.com>, Diciembre 2012).

III. Justificación y Objetivos

- *Objetivo General:*

El objeto del presente trabajo es abordar la posibilidad de adecuar los molinos hidráulicos de la Real Acequia de Moncada (RAM) para la producción de Hidrógeno y de este modo poder utilizar una energía limpia para diversos usos.

Para ello se han calculado las energías generadas (Kwh/año) en cada uno de los diferentes molinos, según localización, tamaño, horas de paso de agua... de este modo se ha podido hacer una estimación sobre la producción total de Hidrógeno (kg/año).

- *Objetivo específico (Caso Piloto):*

Como objetivo secundario se ha planteado la posibilidad de utilizar dicha energía en forma de hidrógeno para su aplicación en instalaciones de riego cercanas a la ciudad de Valencia, concretamente en la “*Comunitat de L’estell i Rojas*” (Caso Piloto).

Por su proximidad al mar y a la población de El Palmar y su cercanía a zonas de gran valor natural, como la laguna de l’Albufera y el Racó de l’Olla, l’Estell constituye uno de los ámbitos territoriales con mayor potencial para llevar a cabo experiencias de recuperación y mejora de los recursos y valores naturales, culturales y, por qué no, productivos (<http://fundacioassut.org>. Enero 2012).



Figura 9. Campos de arroz de la comunidad de l’Estell i Rojas (<http://fundacioassut.org>. Enero 2012).

La partida de l'Estell i Rojas dispone de una superficie de algo más de 300 hectáreas y constituye un ámbito territorial de fuerte significación para l'Albufera. Frontera natural entre lo que en su día fue el estany de l'Alcatí y los marjales de Sueca, l'Estell es, en la actualidad, una partida de dedicación, en su mayoría, arroceras. Dispone de numerosos y característicos elementos arquitectónicos —naves agrícolas, silos, construcciones, motores y chimeneas— que la convierten, además, en un interesantísimo modelo de ocupación y aprovechamiento humano, en los que la agricultura, la caza, la pesca, la ganadería y el aprovechamiento de la vegetación formaron parte, durante siglos, del quehacer rutinario de sus pobladores. (<http://fundacioassut.org>. Enero 2012)

IV. Material y métodos

IV.1 Informantes claves

Para la realización del presente trabajo se ha contado con la colaboración de diversos informantes, con los que se mantuvieron distintas conversaciones para la obtención de diferentes datos:

Lic. Vicent Sales Martínez	Fundación Assut.
Dr. Sergio Rojas Muñoz	ICP -Instituto de catálisis y petroquímica- CSIC -Consejo superior de investigaciones científicas-
Vicent Mocholí	Comunidad de Regantes de “l’Estell i Rojas”

IV.2 Escenarios

Se han realizado los cálculos, tanto de energía generada (Kwh/año) como de Hidrógeno obtenido (kg/año) para cada uno de los molinos, a partir de los caudales diarios de los últimos 25 años (de 1985-1986 hasta 2009-2010) (Datos de caudal obtenidos del CEDEX -Centro de estudios y experimentación de obras públicas-) (<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/canal-codigo.asp>. Noviembre 2012).

Se planteó la posibilidad de trabajar con caudales obtenidos cada diez minutos. Para ello, se realizó un estudio para los años 2000-2010 (datos obtenidos de mediciones realizadas por la Confederación Hidrográfica del Júcar en la derivación desde el río Turia de la RAM), y debido a que los caudales diezminutales prácticamente eran iguales a los caudales medios diarios (la variación del caudal en la toma a lo largo de un día es mínima, siendo el caudal prácticamente constante), los resultados calculando con caudales diezminutales y caudales medios diarios apenas variaban (Ver anejo I). Finalmente se optó por trabajar con caudales medios diarios, porque además no se disponía de registros de caudales diezminutales para todo el periodo de estudio considerado.

Los datos del salto hidráulico en cada uno de los molinos y los días de paso de agua en cada una de las zonas han sido obtenidos por comunicación oral (Vicent Sales, noviembre 2012), por lo que son una estimación aproximada.

Además, se ha propuesto el cálculo de energías en caso de que hubiese un periodo de sequía, tal y como ocurrió en el periodo 2004-2005 hasta 2007-2008, quedando la siguiente tabla como resumen de los posibles casos:

Potencia generada (Kwh/año) y cantidad de H₂ (Kg/año)	
25 años (1985-2010)	Para Caudales Medios diarios
Periodo de sequía (2004-2008)	Para Caudales Medios diarios

Tabla 4. Resumen de los cálculos realizados.

IV.3 Consideraciones

A partir del siguiente esquema se han realizado los diferentes cálculos, donde se han considerado conversiones directas de energía en todos casos:

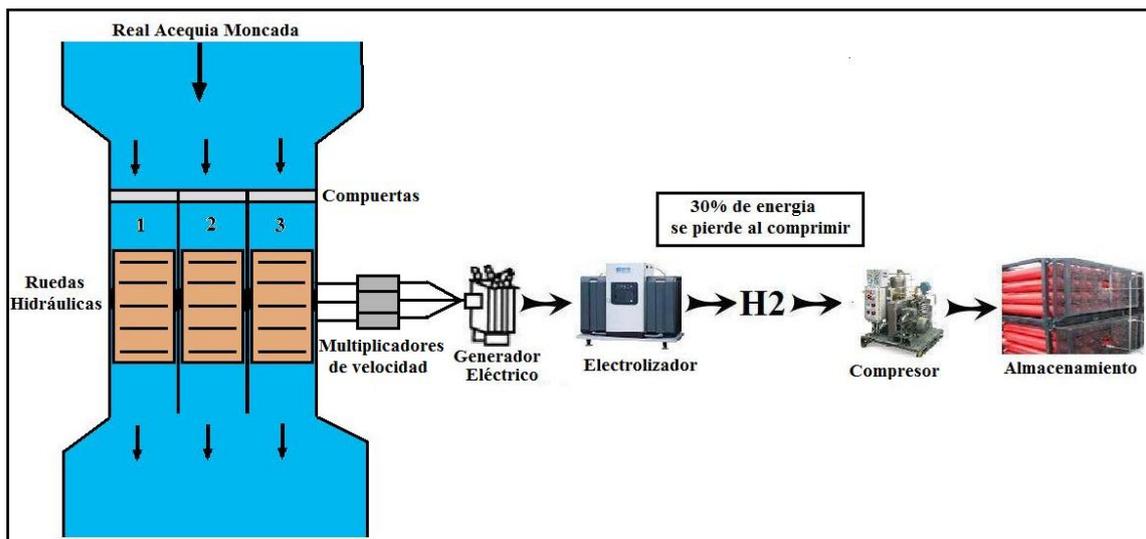


Figura 10. Esquema del proceso

En primer lugar, se encuentra la rueda/s del molino que une las palas a un eje de baja velocidad de giro, que, a su vez, está conectado a un multiplicador de velocidad. Esto

permite que, a pesar de que veamos que las palas del molino no se muevan a gran velocidad, al pasar por el multiplicador, ésta se acelere significativamente en el eje de alta velocidad (puede llegar a girar hasta 50 veces más rápido que el eje de baja velocidad). De no ser por este aumento de la velocidad, el generador eléctrico no se pondría en marcha que es, a fin de cuentas, que es el que se encarga de realizar la transformación completa de la fuerza del agua en electricidad. Las dimensiones de la rueda suelen representar en cualquier planteamiento de turbinas hidráulicas un grupo de variables importante. Las dimensiones adoptadas y las proporciones entre éstas suelen estar reguladas en función al tipo de turbina elegido, a la disposición física del flujo y a las condiciones de operación requeridas (Heredia Sánchez, Luis, 2009).

En nuestro caso se ha supuesto una rueda de iguales características para todos los molinos:

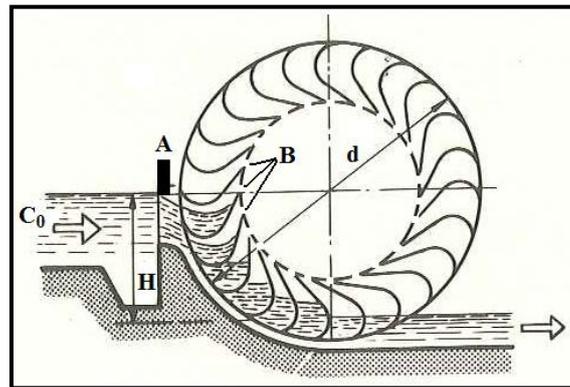


Figura 11. Rueda supuesta en los molinos.

Una rueda de alimentación lateral, la cual estaría diseñada para recibir el agua por un costado, más o menos, al nivel de su diámetro horizontal. El agua fluye por el canal de alimentación con la velocidad C_0 y el diámetro de la rueda es mayor que la altura disponible H (ver figura 11). Para evitar la salida del agua de los “cubos” (palas) antes de que lleguen a su posición más baja, el cuadrante inferior de la rueda está cubierto, obligando así prácticamente a que toda, o casi toda el agua, se conserve dentro del cubo hasta llegar al punto inferior de su recorrido.

Podemos tener un control de la entrada de agua mediante una compuerta de deslizamiento (A) (ver figura 11). que cubre una serie de aberturas (una o más) en la extremidad inclinada del canal, las cuales pueden cerrarse deslizando la compuerta. Estas compuertas servirán como “controladores de caudal”, es decir, según el caudal circulante se abrirán una, dos, tres (según corresponda) compuertas, para lograr un

rendimiento óptimo en nuestras ruedas. Los canales directrices tienen por objeto obligar al agua a entrar al cubo en la dirección más favorable para una buena eficiencia, el modo en que el agua entra al cubo. Las entradas de los cubos prácticamente están cubiertas por la extensión de los canales guías, siendo evidente por tanto la necesidad de orificios por donde pueda escapar el aire desalojado (B) (ver figura 11) (Agüeros, Francisco, 2012). La eficiencia de las ruedas de costado tienen valores normalmente comprendidos entre un 50% para ruedas pequeñas y aproximadamente de un 75% para ruedas grandes bien proyectadas (Agüeros, Francisco, 2012). Añadir que, para los cálculos realizados, no se han considerado pérdidas por choque, espuma y fugas a lo largo de la superficie curva del costado. Según lo descrito y diversas fuentes de información consultadas, los rendimientos de cada una de las ruedas hidráulicas será variable según el caudal circulante y el número de compuertas abiertas (y por tanto el número de ruedas en funcionamiento); a partir de los datos de caudales medios diarios en los últimos 25 años (1985-2010) facilitados por el CEDEX, se ha tomado como caudal máximo circulante $\approx 6 \text{ m}^3/\text{seg}$, por lo que, por ejemplo, en un molino de 3 ruedas hidráulicas el caudal circulante se distribuiría del siguiente modo:

Si el caudal circulante es mayor de $4 \text{ m}^3/\text{seg}$, se abrirían las tres compuertas, distribuyéndose de igual manera el caudal por cada una de las ruedas, en caso de que el caudal sea $2 < Q \leq 4$, se abrirían 2 compuertas, circulando $\frac{1}{2} Q$ por cada una, y en caso de que $Q \leq 2$, se abriría una sola compuerta, por la cual circularía todo el caudal. Del mismo modo ocurrirá con aquellos molinos que dispongan de más o menos ruedas hidráulicas, dividiendo el caudal de forma equitativa según el número de ruedas del que este disponga.

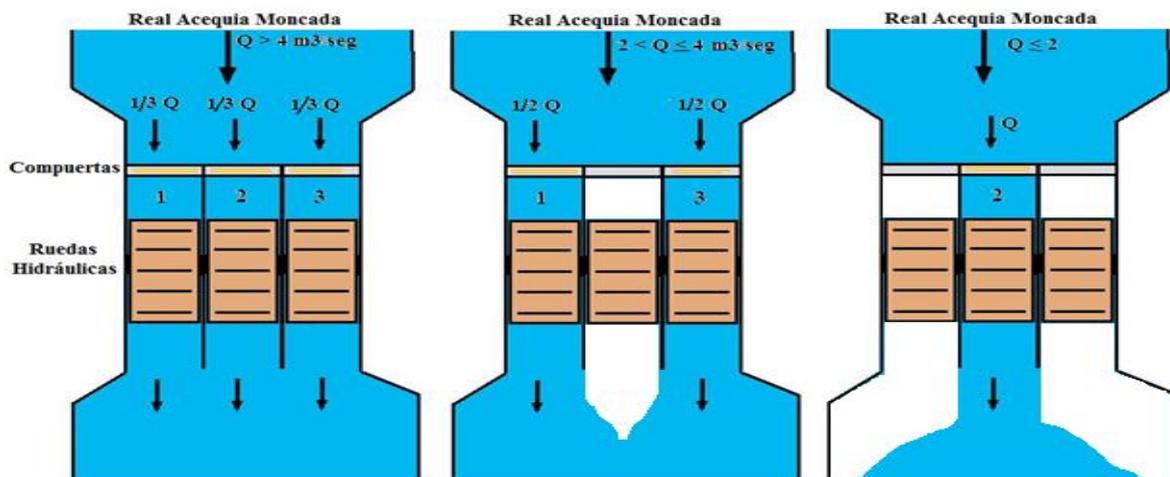


Figura 12. Detalle de funcionamiento de un molino de 3 ruedas hidráulicas.

El modelo explicado serviría para cualquier molino, dividiendo el caudal máximo considerado ($6 \text{ m}^3/\text{seg}$) entre el número de ruedas hidráulicas de que éste disponga, y repartiendo el caudal equitativamente entre ellas. Además para poder activar el generador eléctrico, debe circular un caudal mínimo de $0,5 \text{ m}^3/\text{seg}$, por lo que para los cálculos de producción de hidrógeno, no se ha tenido en cuenta los días cuyo caudal era inferior a ésta cantidad.

En la siguiente tabla se muestran las curvas de rendimiento estimado según el número de ruedas en el molino:

1 Rueda	$y = 0.098x^6 - 1.8167x^5 + 12.689x^4 - 42.344x^3 + 69.914x^2 - 42.615x + 43.523$ $R^2 = 0.997$
2 Ruedas	$y = 10.374x^6 - 102.36x^5 + 392.41x^4 - 747.34x^3 + 742.99x^2 - 343.69x + 98.091$ $R^2 = 0.997$
3 Ruedas	$y = 10.016x^5 - 85.591x^4 + 228.91x^3 - 261.73x^2 + 156.36x + 11.667$ $R^2 = 0.994$
4 Ruedas	$y = 379.87x^5 - 1965.5x^4 + 3865x^3 - 3619.8x^2 + 1649.9x - 242.25$ $R^2 = 0.991$
5 Ruedas	$y = 1762.8x^5 - 7918.1x^4 + 13590x^3 - 11212x^2 + 4513.9x - 662.99$ $R^2 = 0.994$
6 Rueda	$y = 20513x^5 - 78322x^4 + 116667x^3 - 84960x^2 + 30403x - 4251.2$ $R^2 = 0.991$
7 Ruedas	$y = -4102.6x^5 + 7459.2x^4 - 3771.6x^3 - 377.62x^2 + 850.25x - 147.34$ $R^2 = 0.996$
8 Ruedas	$y = -52759x^5 + 126143x^4 - 112984x^3 + 45188x^2 - 6830.4x + 45.902$ $R^2 = 0.996$

El rendimiento del generador eléctrico y el electrolizador es igual para todos:

$$\eta_{g,e} = 95\% \qquad \eta_{\text{electrolizador}} = 60\%$$

Además para el cálculo de producción de hidrógeno se ha tenido en cuenta que un 30% de la energía generada será utilizada para la compresión de éste.

El generador eléctrico debe de producir corriente continua para el proceso de electrólisis. Es posible usar generadores síncronos que producen corriente alterna a una frecuencia que es función de la velocidad de giro de la rueda, para luego, mediante un rectificador, obtener corriente continua con una tensión controlada para alimentar las diferentes celdas en las que se produce la electrólisis (comunicación verbal, Dr.Ing. Jorge García-Serra García).

IV.4 Cálculos

En primer lugar se calculó la energía generada en cada uno de los molinos; conocidos el tiempo de circulación de agua, el salto hidráulico en cada molino y el caudal que circula por éste, aplicando la siguiente formula se obtienen los Kw por unidad de tiempo generados en el molino.

$$E(Kwh) = 9,81 \cdot \sum(Q_i \cdot h_i \cdot \eta_{t,i} \cdot \eta_{ge,i} \cdot t_i)$$

Donde:

E: energía (kw.h) en un periodo de tiempo.

Q_i : Caudal, en m³/s, en cada intervalo de tiempo en el que se subdivide el periodo de cálculo.

h_i : Altura del salto (m) en cada intervalo de tiempo en el que se subdivide el periodo de cálculo.

η_{t,i} : rendimiento de la turbina o rueda hidráulica del molino para cada intervalo de tiempo en el que se subdivide el periodo de cálculo.

η_{ge,i} : rendimiento del generador de energía eléctrica para cada intervalo de tiempo en el que se subdivide el periodo de cálculo.

t_i : Intervalo de tiempo considerado (normalmente 1 día) expresado en horas.

Una vez obtenida la energía eléctrica que genera cada molino, habría que restar el 30% de dicha energía que utilizaremos para comprimir el hidrógeno, y la manera de producir hidrógeno en este caso es mediante un electrolizador. La tecnología estándar para ello, ya comercial, son los electrolizadores alcalinos. Aunque hay prototipos con mayor eficiencia, la máxima conseguida a nivel comercial está entre el 60 y el 70% (Kai, Zeng *et Al.* 2010).

Suponiendo una energía generada de 30.000 Kwh y un 60% de eficiencia (se ha supuesto un 60% en todos los casos), podremos transformar los 30.000 kW·h eléctricos en $30.000 \cdot 60\% = 18.000 \text{ kW}\cdot\text{h}$ de hidrógeno.

Energéticamente el hidrógeno se usa en su reacción de oxidación con oxígeno, bien en una máquina térmica bien en una pila de combustible:



Se puede calcular la energía producida en esta reacción a partir de las entalpías estándar de formación de los reactivos y productos de esta reacción, en este caso la entalpía estándar de reacción es:

$$285,8 \text{ kJ/mol}$$

Teniendo en cuenta el peso molecular del hidrógeno (2,02 g/mol), obtenemos que la energía del hidrógeno, usado en esta reacción en condiciones estándar (25°C, 1 atm), es:

$$141,5 \text{ kJ/g}$$

En algunos sitios se le llama poder calorífico superior (higher heating value, HHV).

También se usa en otras ocasiones el poder calorífico inferior (lower heating value, LHV), cuando el agua formada está en estado de vapor, la diferencia con el HHV es el calor de vaporización del agua (44 kJ/mol), con lo que la energía de la reacción sería 241,8 kJ/mol y la energía del hidrógeno:

$$119,7 \text{ kJ/g}$$

Se pueden usar cualquiera de los dos, dependiendo de cómo vayamos a usar la energía del hidrógeno (si el estado final del agua es vapor o líquido).

Elegimos el LHV= 119,7 kJ/g que es el más habitual (el agua suele terminar en estado de vapor en las pilas de combustible y en las máquinas térmicas), y en el que se está suponiendo que la reacción de oxidación del hidrógeno ocurre en condiciones estándar (25°C, 1 atm) (Ing. Sergio Rojas, comunicación verbal. Diciembre 2012).

Haciendo las equivalencias correspondientes:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 3.600 \text{ J/h}$$

$$1 \text{ kW}\cdot\text{h} = 3.600 \text{ kJ}$$

Tenemos que la energía del hidrógeno es de (119,7 kJ/g) / (3.600 kJ/kW·h), esto es:

$$33,3 \text{ kW}\cdot\text{h/kg}$$

Por lo tanto, obtenemos en el electrolizador:

$$18.000 / 33,3 = 540,5 \text{ kg de hidrógeno.}$$

IV.5 Otras hipótesis

Se estudiaron otras posibilidades para poder obtener una mayor producción de hidrógeno. Los cálculos en éstas para la obtención de hidrógeno se realizaron de igual modo que el explicado anteriormente.

A) Ruedas hidráulicas con un rendimiento constante del 75%:

Se planteó la posibilidad de que las ruedas hidráulicas tuviesen un rendimiento constante del 75%.

Como se ha comentado, el cálculo se realizó del mismo modo que el anteriormente explicado, pero en este caso, se pretendía obtener un rendimiento constante por parte de la rueda/s, lo que implicaba que cada rueda solo trabajara en un rango de caudales que diera lugar a un rendimiento del 75% o superior (cada rueda puede diseñarse para que el rendimiento óptimo, dada una altura de salto, se obtenga para un estrecho rango de caudales). Por tanto, si no disponíamos del caudal suficiente para que la rueda funcionase a éste rendimiento, ésta no se ponía en marcha y por tanto no producía hidrógeno, y si sobrepasábamos el caudal al cual la rueda rendía al 75%, el caudal sobrante se despreciaba, derivándose mediante un sistema de regulación, sin pasar a través de las ruedas.

Se estimaron los siguientes caudales para obtener un 75% de rendimiento en cada uno de los molinos, dependiendo del número de ruedas de estos. Por ejemplo, en un molino con tres ruedas, el caudal óptimo para cada rueda estará entre 1,3 y 1,7 m³/s:

$\eta=75\%$	
1 Rueda	Caudal entre 4,7 y 5,2 (m ³ /seg)
2 Ruedas	Caudal entre 2,2 y 2,6 (m ³ /seg)
3 Ruedas	Caudal entre 1,3 y 1,7 (m ³ /seg)
4 Ruedas	Caudal entre 0,9 y 1,3 (m ³ /seg)
5 Ruedas	Caudal entre 0,7 y 1,0 (m ³ /seg)
6 Ruedas	Caudal entre 0,5 y 0,8 (m ³ /seg)
7 Ruedas	Caudal entre 0,5 y 0,7 (m ³ /seg)
8 Ruedas	Caudal entre 0,5 y 0,7 (m ³ /seg)

B) Turbinas hidráulicas con variación de caudal:

En la presente hipótesis se pretendía sustituir las ruedas hidráulicas del molino de mayor producción (Molino Martinet) por un número de turbinas, en este caso tres.

En cuanto al tipo de turbinas seleccionadas, consistiría en tres grupo/s bulbo con turbinas Klapan, con el generador directamente acoplado a la turbina; turbinas de hélice con palas orientables que pueden girar alrededor de un eje perpendicular al eje de la turbina, las cuales llevarían un generador incorporado. De esta manera la turbina se adaptará a cargas parciales, combinando la orientación de las palas con la posición del distribuidor para trabajar siempre en un punto de rendimiento lo más alto posible. Todo el conjunto se encontraría sumergido, dispuesto en el interior de canal por el que circula todo el caudal a turbinar. El generador se encuentra en el interior de una capsula de chapa (bulbo) de forma aerodinámica y herméticamente cerrada.

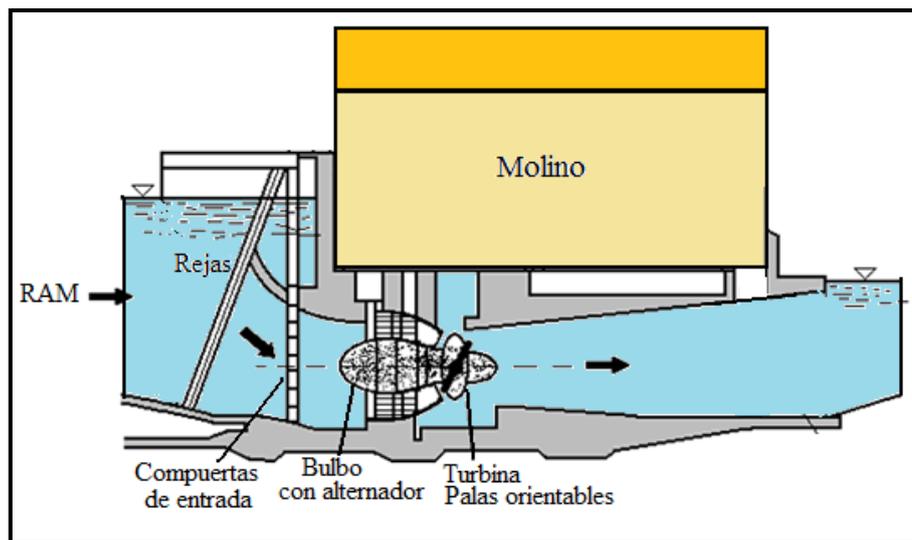


Figura 13. Grupo bulbo de eje horizontal con Turbina Kaplan de palas orientables.

A partir de los valores obtenidos en el ensayo de una turbina modelo se pueden calcular los llamados parámetros unitarios o reducidos. Estos parámetros son los valores que cabría esperar de una turbina geoméricamente semejante a la ensayada, de diámetro de rodete de 1m, sometida a una altura de 1m, y trabajando en un punto de funcionamiento similar al obtenido en el ensayo.

Estos parámetros se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$N_{11} = N_t * \frac{D_t}{\sqrt{H_n}} \quad ; \quad Q_{11} = \frac{Q_t}{D_t^2 \sqrt{H_n}}$$

Donde:

N_t → Velocidad de rotación de la turbina (rpm). H_n → Altura del salto.
 D_t → Diámetro de la turbina (diámetro de las palas). Q_t → Caudal turbinado.

Las curvas características que se obtienen a partir de los valores unitarios se denominan curvas características reducidas. Las curvas que representan simultáneamente diferentes valores unitarios para cada punto de funcionamiento se denominan diagramas unitarios de una serie de turbinas.

Dicho esto, seleccionando una pequeña turbina con una velocidad de rotación (N_t) de 400 rpm y un diámetro (D_t) de 0,75 m, en el diagrama universal de una Turbina Kaplan (ver anejo II) se obtuvo la siguiente curva de rendimiento de nuestra turbina, con la que podremos obtener la producción de hidrógeno en nuestro molino.

$$y = - 6,047x^6 + 36,64x^5 - 81,52x^4 + 74,31x^3 - 27,92x^2 + 17,14x + 72,32; R^2 = 0,9988.$$

C) Turbinas hidráulicas con un rendimiento fijo del 85%:

En este caso, se planteó la posibilidad de que las turbinas tuviesen un rendimiento constante del 85%.

Para el cálculo de este apartado se utilizaron turbinas con las características del apartado anterior (*Hipótesis B*).

Del igual modo que ocurría en la hipótesis A, se pretendía obtener un rendimiento constante, en este caso en las turbinas, por lo que si no disponíamos del caudal suficiente para que la turbina funcionase a éste rendimiento, ésta no se ponía en marcha y por tanto no producía hidrógeno, y si sobrepasábamos el caudal al cual la turbina rendía al 85%, el caudal sobrante se despreciaba.

Se estimaron los siguientes caudales para obtener un 85% de rendimiento en la turbina:

Caudales comprendidos entre: **0,9 y 1,3** (m³/seg) (*Caudales para cada turbina del molino Martinet, molino con tres turbinas*).

IV.6 .Caso Piloto

Una vez se obtenidas las potencias en los molinos y la cantidad de hidrógeno que se puede formar en cada uno de ellos, se plantea la posibilidad de utilizar dicho hidrógeno en los motores de la Partida de “L’Estell i Rojas”.

Para poder utilizar dicho hidrógeno, necesitaremos las pilas de combustible explicadas con anterioridad, a las cuales debemos aplicar un factor de eficiencia y de este modo podremos calcular energía necesaria para cubrir las necesidades de los motores de la Comunidad.

$$H2 \text{ producido } \left(\frac{Kg}{\text{año}} \right) * \text{Energia H2} \left(33,3 \frac{Kwh}{kg} \right) = \frac{Kwh}{\text{año}} (1)$$

$$\frac{Kwh}{\text{año}} (1) * \text{Factor de eficiencia de la pila} = \text{"Kwh/año aplicables"}$$

Los "Kwh/año aplicables" son aquellos disponibles para saber si cumplimos con las necesidades de los motores de la comunidad.

V. Resultados y discusión

Una vez sabido cómo se calcula la producción de Hidrógeno para una energía ficticia, pasamos a calcular cuánto hidrógeno se produce en cada uno de nuestros molinos:

La energía Total anual mostrada, en todos los casos, es la generada por el molino - Kwh eléctricos-, y los kg/año de H₂ , son los formados en el electrolizador a los cuales se les ha aplicado el 60% de eficiencia correspondiente al electrolizador.

V.1. Emplazamiento y resultados

Molinos del Testar y de l'Escaleta: Situados en el término municipal de Paterna, situado entre la carretera V-30 y la actual vía de los FGV en dirección Liria. El molino del Testar, al igual que el de la *Escaleta*, tenía 3 ruedas. Se trata de un conjunto de dos molinos situados sobre el canal principal de la acequia.



Figura 14. RAM a la salida de los molinos Testar y Escaleta

Molino TESTAR y ESCALETA	Salto (m)	2.5
	Ruedas	3
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	338618
	Kwh disponibles para producir H ₂	237033
	Kg H ₂ almacenado	4267
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	263788
	Kwh disponibles para producir H ₂	184652
	Kg H ₂ almacenado	3324

Tabla 5. Cálculos en los molinos Testar y Escaleta.

Molino del *Martinet* (Vila de Paterna): Ubicado en el término municipal de Paterna, a escasos metros del Testar y la *Escaleta*, vecino del molino de Ferrando, disponía de tres muelas harineras, las cuales obtenían la fuerza motriz necesaria gracias a una balsa de acumulación anterior al edificio, construida con el ensanchamiento del mismo cajero de la acequia.



Figura15. Molino del Martinet

Molino MARTINET	Salto (m)	2.9
	Ruedas	3
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	392797
	Kwh disponibles para producir H ₂	274958
	Kg H ₂ almacenado	4950
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	305994
	Kwh disponibles para producir H ₂	214196
	Kg H ₂ almacenado	3856

Tabla 6. Cálculo en el molino Martinet.

Molino de Ferrando: Ubicado en el término municipal de Paterna, al lado del molino anteriormente nombrado (*Vila* de Paterna), disponía de cuatro muelas harineras, situado sobre el cauce principal de la acequia, el cual obtenía su fuerza motriz por el ensanchamiento del mismo cajero, seguido de una rampa para canalizar el agua.



Figura 16. RAM a su paso por el molino Ferrando

Molino FERRANDO	Salto (m)	2.8
	Ruedas	4
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	377572
	Kwh disponibles para producir H ₂	264300
	Kg H ₂ almacenado	4758
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	299582
	Kwh disponibles para producir H ₂	209708
	Kg H ₂ almacenado	3775

Tabla 7. Cálculo en el molino Ferrando.

Molino de la Tandra: Situado en el término municipal de Paterna, muy cerca del anterior conjunto de molinos del *Martinet* y el Testar, se trataba de un molino harinero dotado de 6 muelas, que recibía la fuerza hidráulica a través de un ensanchamiento previo del mismo cauce de la acequia de Moncada, dotándose cada rueda de una rampa previa para aumentar la producción de energía.



Figura 17. Molino de la Tandra

Molino TANDERA	Salto (m)	2.5
	Ruedas	6
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	319697
	Kwh disponibles para producir H ₂	223788
	Kg H ₂ almacenado	4029
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	251638
	Kwh disponibles para producir H ₂	176147
	Kg H ₂ almacenado	3171

Tabla 8. Cálculo en el molino Tanderera.

Molino de Cardona: Se encontraba en el término municipal de Paterna, dentro del mismo casco urbano, construido sobre el mismo cajero de la acequia principal, se trataba de un molino harinero y arrocero, con un total de siete muelas, cuya fuerza motriz era obtenida con un ensanchamiento previo del mismo cajero, seguido de las rampas para canalizar el agua y aumentar su presión. El molino se sustituyó por una fábrica de harinas con maquinaria industrial y el único elemento que queda visible son dos muelas de piedra situadas en el suelo de la calle donde está la fábrica cerrada y utilizadas como elemento decorativo.

Molino CARDONA	Salto (m)	2
	Ruedas	7
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	267067
	Kwh disponibles para producir H ₂	186947
	Kg H ₂ almacenado	3365
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	210835
	Kwh disponibles para producir H ₂	147585
	Kg H ₂ almacenado	2657

Tabla 9. Cálculo en el molino Cardona.

Molino del Batán: Situado en el término municipal de Paterna, en las afueras de la población, construido sobre el cajero principal de la acequia, éste entra en la fábrica y se bifurca en tres brazos; el central o cajero de la acequia, y los laterales, uno a cada lado de éste, que el llevan el agua hasta dos turbinas metálicas que transmiten la fuerza a una gran rueda situada bajo una cubierta adosada al edificio.



Figura 18. Vieja fábrica



Figura 19. RAM a la salida del molino de Batán

Molino BATÁN	Salto (m)	2.3
	Ruedas	1
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	282397
	Kwh disponibles para producir H ₂	197678
	Kg H ₂ almacenado	3559
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	211850
	Kwh disponibles para producir H ₂	148295
	Kg H ₂ almacenado	2670

Tabla 10. Cálculo en el molino Batán.

Molino de La Peña: Ubicado en el término municipal de Paterna, junto al camino de Campanar, antiguamente llamado *camí de Paterna*, construido sobre el cajero principal de la acequia, tratándose de un molino harinero de tres ruedas.

Molino LA PENYA	Salto (m)	1.8
	Ruedas	4
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	242725
	Kwh disponibles para producir H ₂	169907
	Kg H ₂ almacenado	3059
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	192589
	Kwh disponibles para producir H ₂	134812
	Kg H ₂ almacenado	2427

Tabla 11. Cálculo en el molino La Peña.

Molino de Bonany: Ubicado en el término municipal de Benimàmet, integrado ahora en la Ciudad de Valencia, justo en el límite con el también desaparecido término de la alquería de Beniferri, construido sobre el mismo cajero de la acequia. Éste fue inicialmente un molino harinero y más recientemente arrocero, con cinco muelas.



Figura 20. RAM a su entrada en el molino de Bonany

Molino BONANY	Salto (m)	1.5
	Ruedas	5
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	203252
	Kwh disponibles para producir H ₂	142277
	Kg H ₂ almacenado	2561
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	158519
	Kwh disponibles para producir H ₂	110963
	Kg H ₂ almacenado	1998

Tabla 12. Cálculo en el molino Bonany.

Molino de Godella: Ubicado en el término municipal de Godella y construido sobre el eje principal de la acequia, actualmente se encuentra ya dentro del casco urbano. Se trata de un antiguo molino harinero que presenta reformas constructivas de diversos periodos.



Figura 21. RAM a su paso por el molino de Godella

Molino GODELLA	Salto (m)	1.5
	Ruedas	1
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	158312
	Kwh disponibles para producir H ₂	110818
	Kg H ₂ almacenado	1995
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	118552
	Kwh disponibles para producir H ₂	82986
	Kg H ₂ almacenado	1494

Tabla 13. Cálculo en el molino Godella.

Molino de Moncada: Se encuentra en el término municipal de Moncada, justo a la entrada de la población y al lado izquierdo de la carretera que viene desde Valencia. Actualmente ha quedado encajado entre la acequia, dicha carretera y la vía del tren de FGV. Se trata de un molino harinero, de cuatro muelas, que a lo largo del siglo XX ha sufrido el proceso de industrialización que lo ha conducido a desarrollar tareas bien diferentes a las originales.



Figura 22. RAM a su paso por el molino de Moncada

Molino MONCADA	Salto (m)	1.6
	Ruedas	4
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	184937
	Kwh disponibles para producir H ₂	129456
	Kg H ₂ almacenado	2330
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	146373
	Kwh disponibles para producir H ₂	102461
	Kg H ₂ almacenado	1844

Tabla 14. Cálculo en el molino Moncada.

Molino de Alfara: Situado en el término municipal de Alfara del Patriarca, fuera del pueblo, muy cerca del barranco del Carraixet, construido sobre el cajero principal de la acequia. Originalmente fue un molino harinero de 8 muelas que en la actualidad se ha convertido en una moderna fábrica industrial con grandes depósitos metálicos para grano, aunque todavía se conserva en pie el viejo edificio del molino harinero levantado sobre el cajero principal de la acequia.



Figura 23. Molino de Alfara

Molino ALFARA	Salto (m)	1.8
	Ruedas	8
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	202084
	Kwh disponibles para producir H ₂	141459
	Kg H ₂ almacenado	2547
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	154743
	Kwh disponibles para producir H ₂	108320
	Kg H ₂ almacenado	1950

Tabla 15. Cálculo en el molino Alfara.

Molinos de Vinalesa: Aunque no quedan restos en pie, se conoce con exactitud el emplazamiento de ambos molinos, en origen a las afueras y hoy incluidos en el casco urbano de Vinalesa. Se trataba en ambos casos de molinos harineros con dos muelas en funcionamiento.



Figura 24. Molino a su paso por Vinalesa

Molino VINALESA	Salto (m)	1
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	110767
	Kwh disponibles para producir H ₂	77537
	Kg H ₂ almacenado	1396
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	82930
	Kwh disponibles para producir H ₂	58051
	Kg H ₂ almacenado	1045

Tabla 16. Cálculo en el molino Vinalesa.

Molino de Frígola: Ubicado en el término municipal de Foios, cerca de la carretera vieja de Valencia a Barcelona, justo al lado de la vía del actual metro a Rafelbuñol. El edificio estaba ubicado sobre la acequia de la *fila* de Meliana. Se trata de un molino harinero de dos muelas, que hoy en día solo conserva el edificio.

Molino FRIGOLA	Salto (m)	1.2
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	22244
	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
	Kg H ₂ almacenado	280
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	16472
	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
	Kg H ₂ almacenado	208

Tabla 17. Cálculo en el molino Frigola.

Molino del Pallús: Ubicado en el término municipal de Foios, en el camino del cementerio, construido sobre la acequia del *roll* de Foios, actualmente recubierta en aquel tramo y toda la parte hidráulica del edificio ha quedado enterrada. Este molino harinero disponía de dos ruedas y la entrada de agua se producía a través de la acequia que llegaba por la parte posterior del molino y desembocaba en los cárcavos.

Molino PALLÚS	Salto (m)	1.4
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	25951
	Kwh disponibles para producir H ₂	18166
	Kg H ₂ almacenado	327
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	19217
	Kwh disponibles para producir H ₂	13452
	Kg H ₂ almacenado	242

Tabla 18. Cálculo en el molino Pallús.

Molino de Albalat: Ubicado en el término municipal de Albalat dels Sorells, bastante alejado de la población, construido justo en el límite del término municipal de Foios, y recibe el agua por el *roll del molí*, que la deriva de la acequia madre y la conduce en dirección al mar. Éste se dedicaba a la molturación de haría y disponía de dos muelas.



Figura 25. Molino de Albalat



Figura 26. Entrada a los cárcavos.

Molino ALBALAT	Salto (m)	1.2
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	22244
	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
	Kg H ₂ almacenado	280
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	16472
	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
	Kg H ₂ almacenado	208

Tabla 19. Cálculo en el molino Albalat.

Molino de Museros: Se encuentra en el término municipal de Museros, construido sobre una acequia o *roll* secundario conocido como el *roll* de Museros. Se trataba de un molino harinero de dos ruedas, actualmente ha desaparecido por completo y tan solo se puede localizar a través de planos antiguos.



Figura 27. RAM a su paso por el emplazamiento del molino de Museros

Molino MUSEROS	Salto (m)	1.3
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	119998
	Kwh disponibles para producir H ₂	83999
	Kg H ₂ almacenado	1512
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	89627
	Kwh disponibles para producir H ₂	62739
	Kg H ₂ almacenado	1129

Tabla 20. Cálculo en el molino Museros.

Molino de la Lloma: Situado en el término municipal de Massamagrell, cercano a un antiguo convento, construido sobre el cajero principal de la acequia. Se trataba de un molino con cuatro muelas harineras y arroceras, unas harineras y otras arroceras.



Figura 28. RAM a su paso por el molino de la Lloma.

Molino LA LLOMA	Salto (m)	1.5
	Ruedas	4
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	144441
	Kwh disponibles para producir H ₂	101109
	Kg H ₂ almacenado	1820
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	113903
	Kwh disponibles para producir H ₂	79732
	Kg H ₂ almacenado	1435

Tabla 21. Cálculo en el molino La Lloma.

Molino de la Magdalena: Ubicado en el término municipal de Massamagrell, junto al convento con ese nombre, construido sobre una derivación de la acequia, accediéndose a él por la carretera de Massamagrell a Náquera.



Figura 29. RAM a su paso por el molino de la Magdalena

Molino MAGDALENA	Salto (m)	1.2
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	110768
	Kwh disponibles para producir H ₂	77537
	Kg H ₂ almacenado	1396
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	82733
	Kwh disponibles para producir H ₂	57913
	Kg H ₂ almacenado	1043

Tabla 22. Cálculo en el molino Magdalena.

Molino de *Baix*: Ubicado en el término municipal de Massamagrell, construido sobre la acequia o *roll* de Massamagrell, accediéndose a él por el camino del cementerio. Consistía en un molino harinero de dos muelas.

Molino BAIX	Salto (m)	1
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	18536
	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
	Kg H ₂ almacenado	234
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	13727
	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
	Kg H ₂ almacenado	173

Tabla 23. Cálculo en el molino Baix.

Molino de *Capa*: Situado en el término municipal de la Poble de Farnals, a las afueras del pueblo en dirección oeste, entre la acequia de Moncada y la población, construido sobre una acequia secundaria. Se trataba de un pequeño molino dotado de dos muelas.



Figura 30. Molino de Capa

Molino CAPA	Salto (m)	1
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	18536
	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
	Kg H ₂ almacenado	234
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	13727
	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
	Kg H ₂ almacenado	173

Tabla 24. Cálculo en el molino Capa.

Molino de la Cartuja: Situado en el interior del recinto de la Cartuja de *Ara Christi*, en el término municipal de El Puig, situado junto a la antigua carretera general de Valencia a Barcelona y actual rotonda que lleva a Pobla de Farnals y Rafelbuñol. Construido sobre un brazo que deriva desde la acequia madre. Este molino contaba con dos muelas harineras que más tarde se convertirían en arroceras.

Molino CARTUJA	Salto (m)	1.2
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	22244
	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
	Kg H ₂ almacenado	280
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	16472
	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
	Kg H ₂ almacenado	208

Tabla 25. Cálculo en el molino Cartuja.

Molino dels Frares: Localizado en el término municipal de El Puig, a una distancia aproximada de 500 m de la cartuja de *Ara Christi*, en dirección a Rafelbuñol. Construido sobre una derivación que baja directamente del canal principal. Se trataba de un molino harinero dotado de dos muelas.



Figura 31. Molino dels Frares



Figura 32. Entrada a los cárcavos en el molino de los Frares

Molino FRARES	Salto (m)	1.2
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	22244
	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
	Kg H ₂ almacenado	280
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	16472
	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
	Kg H ₂ almacenado	208

Tabla 26. Cálculo en el molino Frares.

Molino de la Vila del Puig: Ubicado en el término municipal de El Puig, muy próximo a la autovía Valencia-Barcelona, de la que queda a su lado oeste. Se trata de un molino situado fuera del cajero de la acequia principal. Se trataba de un molino harinero y arrocero de dos muelas.

Molino VILA DEL PUIG	Salto (m)	1.3
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	24097
	Kwh disponibles para producir H ₂	16868
	Kg H ₂ almacenado	304
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	17845
	Kwh disponibles para producir H ₂	12491
	Kg H ₂ almacenado	225

Tabla 27. Cálculo en el molino Vila del Puig.

Molinos de Puzol: Último pueblo situado en el recorrido de la acequia de Moncada. El agua llega en una tanda conjunta con El Puig, recibiendo el agua por una acequia secundaria. Disponía de dos muelas arroceras.



Figura 33. Molino de Puzol



Figura 34. RAM a su paso por los molinos de Puzol

Molino PUZOL	Salto (m)	1
	Ruedas	2
Últimos 25 años (1985 - 2010)	Kwh	18536
	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
	Kg H ₂ almacenado	234
Sequía (2004 - 2008)	Kwh	13727
	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
	Kg H ₂ almacenado	173

Tabla 28. Cálculo en el molino Puzol.

- A continuación se muestran los promedios del caudal y las tablas resumen de los cálculos anteriores para ambos casos:

Últimos 25 años (1985-2010) → 75,6 hm³/año

Sequia (2004-2008) → 59,2 hm³/año

Tabla 29. Promedio del caudal para los diferentes periodos.

Molino	TESTAR y ESCALETA	Kwh	338618
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	237033
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	4267
Molino	MARTINET	Kwh	392797
Salto (m)	2.9	Kwh disponibles para producir H ₂	274958
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	4950
Molino	FERRANDO	Kwh	377572
Salto (m)	2.8	Kwh disponibles para producir H ₂	264300
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	4758
Molino	TANDERA	Kwh	319697
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	223788
Ruedas	6	Kg H ₂ almacenado	4029
Molino	CARDONA	Kwh	267067
Salto (m)	2	Kwh disponibles para producir H ₂	186947
Ruedas	7	Kg H ₂ almacenado	3365
Molino	BATÁN	Kwh	282397
Salto (m)	2.3	Kwh disponibles para producir H ₂	197678
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	3559
Molino	LA PENYA	Kwh	242725
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	169907
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	3059
Molino	BONANY	Kwh	203252
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	142277
Ruedas	5	Kg H ₂ almacenado	2561
Molino	GODELLA	Kwh	158312
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	110818
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	1995
Molino	MONCADA	Kwh	184937
Salto (m)	1.6	Kwh disponibles para producir H ₂	129456
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	2330
Molino	ALFARA	Kwh	202084
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	141459
Ruedas	8	Kg H ₂ almacenado	2547
Molino	VINALESA	Kwh	110767
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	77537
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1396
Molino	FRIGOLA	Kwh	22244
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	280
Molino	PALLÚS	Kwh	25951
Salto (m)	1.4	Kwh disponibles para producir H ₂	18166
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	327
Molino	ALBALAT	Kwh	22244
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	280
Molino	MUSEROS	Kwh	119998
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	83999
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1512
Molino	LA LLOMA	Kwh	144441
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	101109
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	1820
Molino	MAGDALENA	Kwh	110768
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	77537
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1396
Molino	BAIX	Kwh	18536
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	234
Molino	CAPA	Kwh	18536
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	234
Molino	CARTUJA	Kwh	22244
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	280
Molino	FRARES	Kwh	22244
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	15571
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	280
Molino	VILA DEL PUIG	Kwh	24097
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	16868
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	304
Molino	PUZOL	Kwh	18536
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	12975
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	234

Tabla 30. Tabla resumen ÚLTIMOS 25 AÑOS (1985-2010)

Molino	TESTAR y ESCALETA	Kwh	263788
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	184652
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	3324
Molino	MARTINET	Kwh	305994
Salto (m)	2.9	Kwh disponibles para producir H ₂	214196
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	3856
Molino	FERRANDO	Kwh	299582
Salto (m)	2.8	Kwh disponibles para producir H ₂	209708
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	3775
Molino	TANDERA	Kwh	251638
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	176147
Ruedas	6	Kg H ₂ almacenado	3171
Molino	CARDONA	Kwh	210835
Salto (m)	2	Kwh disponibles para producir H ₂	147585
Ruedas	7	Kg H ₂ almacenado	2657
Molino	BATÁN	Kwh	211850
Salto (m)	2.3	Kwh disponibles para producir H ₂	148295
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	2670
Molino	LA PENYA	Kwh	192589
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	134812
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	2427
Molino	BONANY	Kwh	158519
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	110963
Ruedas	5	Kg H ₂ almacenado	1998
Molino	GODELLA	Kwh	118552
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	82986
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	1494
Molino	MONCADA	Kwh	146373
Salto (m)	1.6	Kwh disponibles para producir H ₂	102461
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	1844
Molino	ALFARA	Kwh	154743
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	108320
Ruedas	8	Kg H ₂ almacenado	1950
Molino	VINALESA	Kwh	82930
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	58051
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1045
Molino	FRIGOLA	Kwh	16472
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	PALLÚS	Kwh	19217
Salto (m)	1.4	Kwh disponibles para producir H ₂	13452
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	242
Molino	ALBALAT	Kwh	16472
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	MUSEROS	Kwh	89627
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	62739
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1129
Molino	LA LLOMA	Kwh	113903
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	79732
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	1435
Molino	MAGDALENA	Kwh	82733
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	57913
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1043
Molino	BAIX	Kwh	13727
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173
Molino	CAPA	Kwh	13727
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173
Molino	CARTUJA	Kwh	16472
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	FRARES	Kwh	16472
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11530
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	VILA DEL PUIG	Kwh	17845
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	12491
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	225
Molino	PUZOL	Kwh	13727
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9609
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173

Tabla 31. Tabla resumen en época de SEQUÍA (2004-2008)

- Una vez realizado todos los cálculos se obtuvieron los siguientes gráficos, dónde se muestra la comparativa entre todos los molinos de la RAM:

V.2. Situación para los últimos 25 años

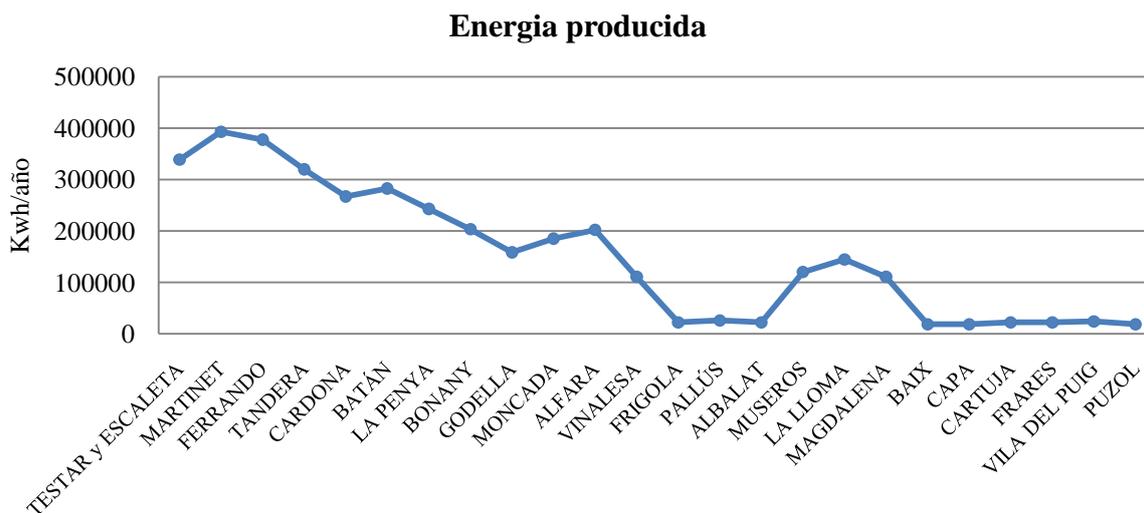


Gráfico 2. Energía producida en cada molino en los últimos 25 años.

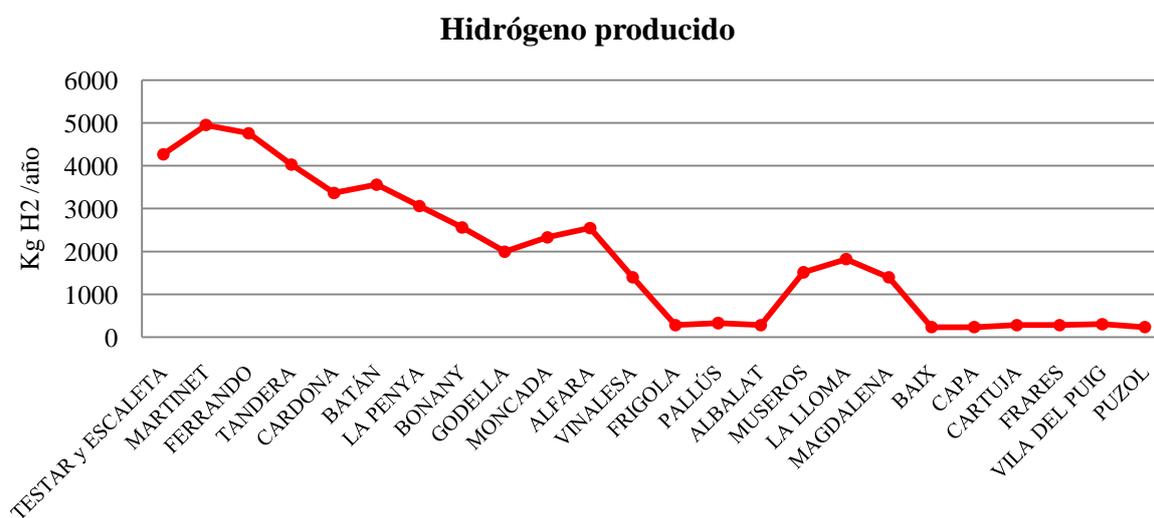


Gráfico 3. Hidrógeno producido en cada molino en los últimos 25 años.

En el cálculo de energía se pudo observar que el molino “Martinet” era el de mayor producción con una media anual de 392.797 Kwh, lo cual permitiría producir 4.950 Kg/año de Hidrógeno. En el lado opuesto se encuentran los molinos “Baix, Capa y Puzol”, con una producción de energía de 18.536 Kwh anuales y 234 kg/año de Hidrógeno.

Además se observó, que a medida que avanza la RAM va disminuyendo la producción de energía en los molinos y por tanto obtenemos una menor cantidad de hidrógeno, esto es debido en gran medida a las horas de paso de agua por cada uno de los molinos, ya que en el inicio de la RAM son mayores que a su final, y según el emplazamiento del molino, esté en el cajero principal de la acequia (red principal) o en una derivación de ésta (red secundaria).

En el molino de “Martinet”, además de encontrarse sobre el cajero principal de la acequia, tenemos agua todos los días de la semana, por el contrario, en los molinos “Baix, Capa y Puzol”, solamente llega agua un día por semana, y se encuentran en una red secundaria. A esto hay que añadir que el salto hidráulico también influye en el cálculo de energía siendo de 2,9 metros en el molino de “Martinet” y de 1 metro en los molinos de “Baix, Capa y Puzol”.

En el siguiente gráfico se puede observar la evolución, tanto del caudal ($\text{Hm}^3/\text{año}$) como del hidrógeno producido ($\text{Kg}/\text{año}$), en el molino de Martinet; a mayor caudal, mayor producción de hidrógeno:

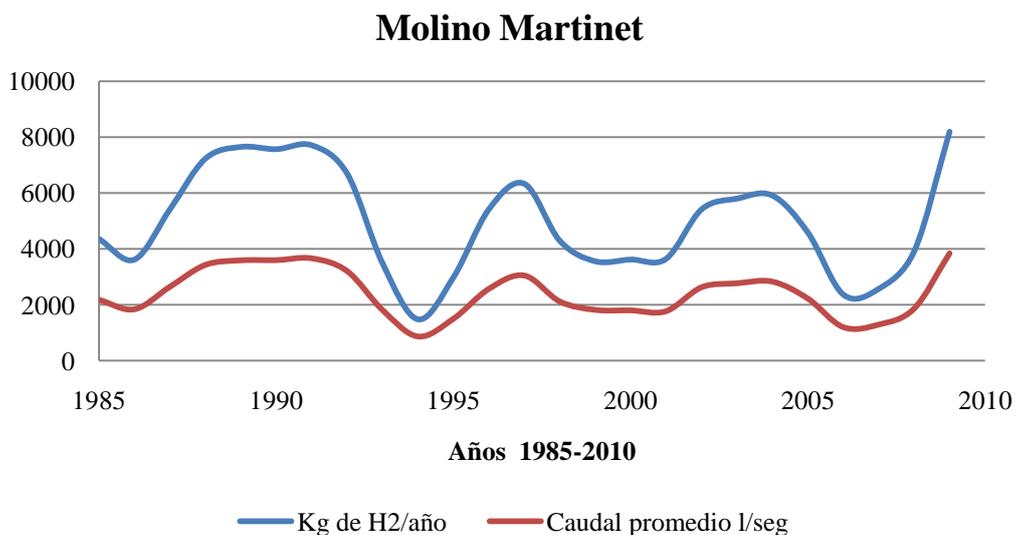


Gráfico 4. Evolución caudal (promedio anual l/seg vs producción de hidrógeno (kg/año)).

V.3. Situación para época de sequía

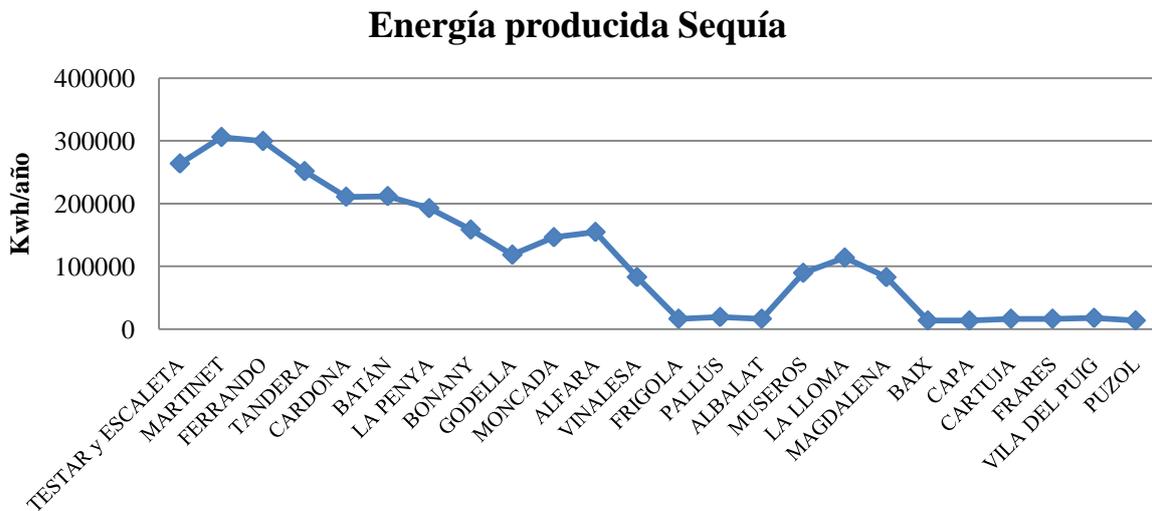


Gráfico 5. Energía producida en cada molino para la época de Sequía

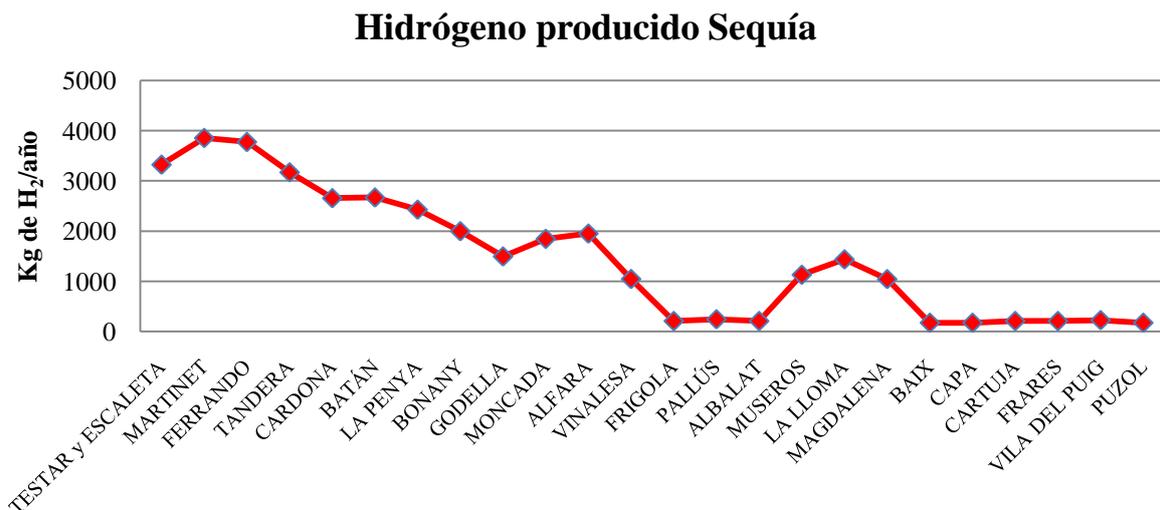


Gráfico 6. Hidrógeno producido en cada molino para la época de Sequía

Para cálculo de potencias en situación de sequía, del mismo modo que ocurría con los calculados para los últimos 25 años, el molino “Martinet” es el de mayor producción de energía con un promedio de 305.994 Kwh anuales, lo cual permite producir 3.856 kg/año de Hidrógeno, esto suponen 1.094 kg/año menos que con los caudales para los últimos 25 años, lo cual nos evidencia el efecto de la sequía.

También ocurre con los molinos de “Baix, Capa y Puzol” con una producción de energía de 13.727 Kwh anuales y 173 kg/año de Hidrógeno, que son 61 kg/año menos que con la situación “normal” de los últimos 25 años.

V.4 Otras Hipótesis

A) Ruedas hidráulicas al 75% de su rendimiento:

Al realizar los cálculos con un rendimiento fijo en las ruedas hidráulicas de los molinos se obtuvieron los siguientes resultados:

Periodo 1985-2010			
Molino	TESTAR y ESCALETA	Kwh	284449
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	199114
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	3584
Molino	MARTINET	Kwh	329961
Salto (m)	2.9	Kwh disponibles para producir H ₂	230973
Ruedas	3	Kg H ₂ almacenado	4158
Molino	FERRANDO	Kwh	356163
Salto (m)	2.8	Kwh disponibles para producir H ₂	249314
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	4488
Molino	TANDERA	Kwh	334365
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H ₂	234056
Ruedas	6	Kg H ₂ almacenado	4213
Molino	CARDONA	Kwh	267086
Salto (m)	2	Kwh disponibles para producir H ₂	186960
Ruedas	7	Kg H ₂ almacenado	3366
Molino	BATÁN	Kwh	70690
Salto (m)	2.3	Kwh disponibles para producir H ₂	49483
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	891
Molino	LA PENYA	Kwh	228962
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	160273
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	2885
Molino	BONANY	Kwh	192857
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	135000
Ruedas	5	Kg H ₂ almacenado	2430
Molino	GODELLA	Kwh	39321
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	27525
Ruedas	1	Kg H ₂ almacenado	495
Molino	MONCADA	Kwh	174620
Salto (m)	1.6	Kwh disponibles para producir H ₂	122234
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	2200
Molino	ALFARA	Kwh	209965
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H ₂	146975
Ruedas	8	Kg H ₂ almacenado	2646
Molino	VINALESA	Kwh	82108
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	57476
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1035
Molino	FRIGOLA	Kwh	16500
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11550
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	PALLÚS	Kwh	19250
Salto (m)	1.4	Kwh disponibles para producir H ₂	13475
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	243
Molino	ALBALAT	Kwh	16500
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11550
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	MUSEROS	Kwh	88852
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	62196
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1120
Molino	LA LLOMA	Kwh	136342
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H ₂	95439
Ruedas	4	Kg H ₂ almacenado	1718
Molino	MAGDALENA	Kwh	82017
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	57412
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	1034

Molino	BAIX	Kwh	13750
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9625
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173
Molino	CAPA	Kwh	13750
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9625
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173
Molino	CARTUJA	Kwh	16500
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11550
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	FRARES	Kwh	16500
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H ₂	11550
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	208
Molino	VILA DEL PUIG	Kwh	17875
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H ₂	12513
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	225
Molino	PUZOL	Kwh	13750
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H ₂	9625
Ruedas	2	Kg H ₂ almacenado	173

Tabla 32. Tabla resumen ÚLTIMOS 25 AÑOS con $\eta=75\%$ fijo.

En este caso se observó que el molino con mayor producción de hidrógeno, era el molino de Ferrando, y no el de Martinet, esto es debido a que el molino de Ferrando dispone de cuatro ruedas hidráulicas (una más que el de Martinet) y como está vez funcionamos con un rendimiento constante en las ruedas, el molino de Ferrando dará mayor producción.

De todos modos, en el caso anterior (ruedas con rendimiento variable) en el molino de Martinet se llegaban a producir 4.950 Kg/año como promedio, frente a los 4.488 Kg/año que se producen en este caso en el molino de Ferrando, por lo que la opción de trabajar con rendimientos variables sin despreciar caudal nos sigue dando una mayor producción de hidrógeno.

A continuación se muestra una tabla donde se compara la producción en todos los molinos en ambas situaciones:

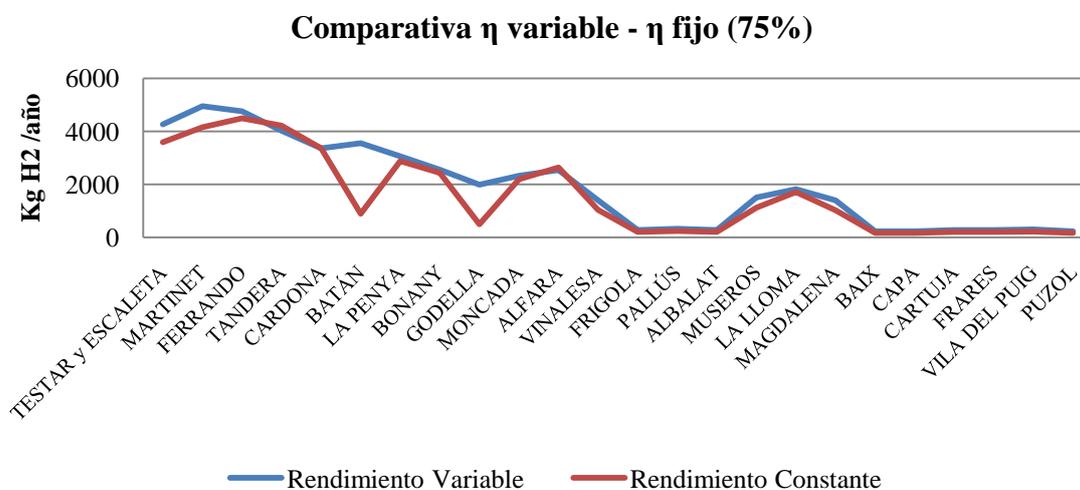


Gráfico 7. Comparativa de los molinos con ruedas de rendimiento variable frente a rendimiento fijo

Se observó que a menor número de ruedas en el molino, peor era el resultado en comparación con el rendimiento variable, como es el caso de los molinos de Batán y Godella, ambos con una sola rueda hidráulica, por lo que para que funcione con un rendimiento constante del 75%, deberíamos despreciar mucho caudal, y por tanto mucha producción de hidrógeno.

Para el periodo de sequía se obtuvieron los siguientes resultados:

Periodo 2004 - 2008			
Molino	TESTAR Y ESCALETA	Kwh	227227
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H2	159059
Ruedas	3	Kg H2 almacenado	2863
Molino	MARTINET	Kwh	263583
Salto (m)	2.9	Kwh disponibles para producir H2	184508
Ruedas	3	Kg H2 almacenado	3321
Molino	FERRANDO	Kwh	279027
Salto (m)	2.8	Kwh disponibles para producir H2	195319
Ruedas	4	Kg H2 almacenado	3516
Molino	TANDERA	Kwh	261463
Salto (m)	2.5	Kwh disponibles para producir H2	183024
Ruedas	6	Kg H2 almacenado	3295
Molino	CARDONA	Kwh	208278
Salto (m)	2	Kwh disponibles para producir H2	145795
Ruedas	7	Kg H2 almacenado	2625
Molino	BATÁN	Kwh	1839
Salto (m)	2.3	Kwh disponibles para producir H2	1287
Ruedas	1	Kg H2 almacenado	23
Molino	LA PENYA	Kwh	179375
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H2	125562
Ruedas	4	Kg H2 almacenado	2260
Molino	BONANY	Kwh	148690
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H6	104083
Ruedas	5	Kg H2 almacenado	1874
Molino	GODELLA	Kwh	1199
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H2	839
Ruedas	1	Kg H2 almacenado	15
Molino	MONCADA	Kwh	136208
Salto (m)	1.6	Kwh disponibles para producir H2	95345
Ruedas	4	Kg H2 almacenado	1716
Molino	ALFARA	Kwh	162957
Salto (m)	1.8	Kwh disponibles para producir H2	114070
Ruedas	8	Kg H2 almacenado	2053
Molino	VINALESA	Kwh	68595
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H2	48016
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	864
Molino	FRIGOLA	Kwh	12951
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H2	9066
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	163
Molino	PALLÚS	Kwh	15110
Salto (m)	1.4	Kwh disponibles para producir H2	10577
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	190
Molino	ALBALAT	Kwh	12951
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H2	9066
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	163
Molino	MUSEROS	Kwh	74163
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H2	51914
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	935
Molino	LA LLOMA	Kwh	105992
Salto (m)	1.5	Kwh disponibles para producir H2	74194
Ruedas	4	Kg H2 almacenado	1336
Molino	MAGDALENA	Kwh	68458
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H2	47921
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	863
Molino	BAIX	Kwh	10793
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H6	7555
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	136

Molino	CAPA	Kwh	10793
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H2	7555
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	136
Molino	CARTUJA	Kwh	12951
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H2	9066
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	163
Molino	FRARES	Kwh	12951
Salto (m)	1.2	Kwh disponibles para producir H6	9066
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	163
Molino	VILA DEL PUIG	Kwh	14030
Salto (m)	1.3	Kwh disponibles para producir H2	9821
Ruedas	2	Kg H2 almacenado	177
Molino	PUZOL	Kwh	10793
Salto (m)	1	Kwh disponibles para producir H2	7555
Ruedas	1	Kg H2 almacenado	136

En este caso el molino con mayor producción, el molino Ferrando, con 3516 Kg/año, produce 341 Kg/año menos que el molino Martinet con las ruedas hidráulicas de rendimiento variable, el cual producía 3.856 kg/año, por lo que se continua evidenciando que se produce mayor cantidad de hidrógeno con ruedas hidráulicas de rendimiento variable frente a las ruedas hidráulicas de rendimiento fijo.

B) Turbinas hidráulicas con variación de caudal:

El molino de mayor producción de hidrógeno obtenido fue el molino “Martinet”; se realizaron los cálculos para dicho molino sustituyendo las tres ruedas hidráulicas por tres turbinas con $N_t = 400$ rpm, y $D_t = 0,75$ m, cada una, obteniendo los siguientes resultados:

Molino Martinet	Salto(m): 2,9	Turbinas: 3
Periodo 25 años (1985-2010)	Kwh/año:	452.828
	Kwh/año disponibles para producir H ₂ :	316.980
	Kg/año H ₂ almacenado:	5.706
Periodo Sequia (2004-2008)	Kwh/año:	352.649
	Kwh/año disponibles para producir H ₂ :	246.854
	Kg/año H ₂ almacenado:	4.444

Se obtuvo una producción de 5.706 Kg/año, que si los comparamos con la producción de hidrógeno obtenida en la situación con ruedas hidráulicas para el mismo molino (4.950 Kg/año), se puede observar que mediante turbinas se llegarían a producir unos 756 Kg más, esto nos da idea de que tal vez sea una ventaja sustituir las viejas ruedas hidráulicas por turbinas con una mayor eficiencia. En cualquier caso, sería necesario realizar estudios más precisos y mediciones en campo para optar por una u otra solución.

C) Turbinas hidráulicas con un rendimiento fijo del 85%:

Al calcular el hidrógeno producido en el molino de Martinet mediante tres turbinas de iguales características que en la hipótesis anterior y funcionando con un rendimiento del 85% constante, despreciando caudal sobrante, se obtuvieron los siguientes resultados:

Molino Martinet Salto(m): 2,9 Turbinas: 3		
Periodo 25 años (1985-2010)	Kwh/año:	400.096
	Kwh/año disponibles para producir H ₂ :	280.067
	Kg/año H ₂ almacenado:	5.042
Periodo Sequia (2004-2008)	Kwh/año:	324.514
	Kwh/año disponibles para producir H ₂ :	227.160
	Kg/año H ₂ almacenado:	4.089

En este caso se obtuvo una producción de hidrógeno de 5.042 Kg/año, y tal y como ocurría en el caso de las ruedas hidráulicas, al trabajar con un rendimiento constante despreciando caudal, la producción de hidrógeno es menor que si trabajamos con variación de caudal y un rendimiento variable en la turbina (hipótesis B) donde se obtuvieron 5.706 Kg/año, 664 Kg más que si trabajamos con turbinas de rendimiento fijo. A continuación se muestra un tabla a modo de resumen donde se observan las diferentes producciones para el molino de Martinet en el periodo de 25 años:

Molino Martinet -Producción anual-		
Caso 1	Kwh	392.797
	Kwh disponibles para producir H ₂	274.958
	Kg H ₂ almacenado	4.950
Hipótesis A	Kwh	329.961
	Kwh disponibles para producir H ₂	230.973
	Kg H ₂ almacenado	4.158
Hipótesis B	Kwh	452.828
	Kwh disponibles para producir H ₂	316.980
	Kg H ₂ almacenado	5.706
Hipótesis C	Kwh	400.096
	Kwh disponibles para producir H ₂	280.067
	Kg H ₂ almacenado	5.042

Tabla 33. Tabla resumen molino Martinet para diferentes hipótesis

Como se pudo comprobar, la hipótesis B (tres turbinas con variación de caudal) sería la mejor opción en cuanto a producción de hidrógeno se refiere.

V.5. Caso Piloto

Como ya se ha mencionado, se ha planteado la posibilidad de utilizar el hidrógeno producido en los molinos, en los motores de riego de la Comunidad de L´estell y Rojas, ésta contiene 5 motores con los siguientes consumos (Comunicación verbal, Vicent Mocholí, Diciembre 2012):

Consumo anual KWH (Año 2011)						
Motores						
	<u>Daniel</u>	<u>Ramón</u>	<u>Cañar</u>	<u>Fondets</u>	<u>Rojas</u>	
Llano	17.116	12.486	13.655	18.426	9.257	
Punta	9.306	6.003	6.536	8.826	4.396	
Valle	20.204	14.807	16.584	23.448	12.366	
TOTAL	46.626	33.296	36.775	50.700	26.019	ANUAL 193.416

Tabla 34. Datos de los consumos anuales de los motores de riego en L´estell y Rojas.

Según datos proporcionados, tenemos un consumo anual de energía en los motores de 193.416 Kwh, que supone un gasto de 37.140€/anuales para la comunidad. (Comunicación verbal, Vicent Mocholí).

Con la cantidad de hidrógeno producido en el molino “Martinet” (molino de mayor producción), para el caso de la hipótesis B (hipótesis en la que se obtenía una mayor cantidad de H₂) 5.706 Kg/año, esto supone 190.181 Kwh eléctricos:

$$5.706 \frac{kg}{año} * 33,33 \frac{Kwh}{Kg} = 190.181 \frac{Kwh}{año}$$

Si quisiéramos aprovechar dicha energía, debemos utilizar una pila de combustible, explicada con anterioridad; suponiendo un rendimiento de la pila de un 65%, obtendríamos 123.618 Kwh/año eléctricos utilizables:

$$190.181 \frac{Kwh}{año} * 0,65 = 123.618 \frac{Kwh}{año}$$

De este modo no llegaríamos a cubrir las necesidades de todos los motores de la comunidad (193.416 Kwh/año), por lo que habría que utilizar, además de la del molino de “Martinet”, el hidrógeno de cualquier otro molino que produjera, al menos, 3.222 Kg de Hidrógeno anuales.

En el caso de que nos encontrásemos en una época de sequía, el molino de “Martinet” llegaría a producir 4.444 Kg anuales de hidrógeno, los cuales, siguiendo los pasos anteriores, nos darían una energía de 96.277 Kw/año, lo que nos refleja que en época de sequía la producción de hidrógeno se vería bastante afectada, llegándose a reducir la producción en un 22%.

VI. Estudio Económico

Para poder producir hidrógeno en cualquiera de nuestros molinos, debemos realizar una fuerte inversión de capital, por ello, se han realizado dos estudios económicos para estimar el coste de inversión en el molino de “Martinet” para la ejecución del trabajo propuesto, uno con ruedas hidráulicas y otro con turbinas.

Los costes estimados en la determinación de las inversiones requeridas evalúan aspectos como: instalaciones, maquinaria, personal... pero no comprenden los gastos de explotación, amortización, rentabilidad...

VI.1. Con Ruedas Hidráulicas:

Mano de obra:

Necesitaremos un experto investigador (ingeniero a cargo) que esté pendiente de todos los procesos que ocurren a lo largo de la transformación de la energía hidráulica en hidrógeno.

Multiplicadores de velocidad:

Modelo: Serie 300 (tecnotrans)

Uniones interiores entre elementos por medio de dentados.

Rango pares nominales: 1000-450000 Nm

Rango potencias: 20 a 850 kw



Figura 35. Posible multiplicador de velocidad



Figura 36. Detalle de un multiplicador de velocidad

Generador Eléctrico:

Alternador modelo: TFW-120

Capacidad nominal: 150 Kva

Salida nominal: 120 Kw

Velocidad (rpm): 1500



Figura 37. Posible alternador a utilizar



Figura 38. Alternadores de principios del siglo XX en una central hidroeléctrica.

Electrolizador:

Modelo: HySTAT 30-10

Pureza del Hidrógeno: > 99,9%

Presión de trabajo: 10 bar

Cantidad de electrolito: 360 l

Flujo de H₂ nominal: 30 Nm³/h

Consumo de agua: 1,5 – 2 litros/Nm³ H₂

Dimensiones: 6,5m x 2,5m x 3m

Peso: 16 toneladas

Fabricante: Hydrogenics



Figura 39. Posible electrolizador

Compresor de H₂:

Presión de aspiración: 2-4 bar Flujo de H₂ comprimido: 31 Nm³/h x compresor

Presión de compresión : 200 bar Fabricante: Oleomatic



Figura 40. Posible compresor

Almacenaje de H₂:

Capacidad total de almacenaje: 430 Nm³ de H₂

Formado por 3 bloques de 16 botellas de 50 l de capacidad cada una.

Presión de almacenaje: 200 bar



Figura 41. Almacén de hidrógeno

Medidor de pH:

Rango: 0-5000 ppm - 0-9999 microsiemens - 1-75°C - 33-167°F	Compensación de temperatura automática (ATC)
Precisión: ±2%	Calibración: Ajustable manual.
Resolución: 0,1 ppm - 0,1 µS	Dimensiones: 7,2 cm x 7,2 cm x 10,2 cm
Suministro eléctrico requerido: 220V - 110V	Peso total: 680,4 g



Figura 42. Medidor de pH.

Ordenador sobremesa:

Procesador: Intel Core i7 3770	Velocidad del procesador: 3,4 GHz
Memoria Cache: 8MB	Sistema operativo: Windows 8 64 bits
Tarjeta gráfica: AMD Raedon HD 7570	Monitor: LCD LED HP. 23"
Disco Duro interno: 1000 TB SATA 3G 7200 rpm	Memoria RAM: 8GB
Medidas: 165 x 368 x 389 mm	Peso: 8 kg



Figura 43. Ordenador sobremesa

VI. 2. Presupuesto con Ruedas hidráulicas

Coste mano de obra

Gasto que supondrá el jornal de los posibles operarios que participan en la ejecución de las actividades propuestas.

	Cantidad	H/pers.	Precio (€/h)	Precio total (€)
Personal técnico	1	1600	35	56.000
			Total	56.000

Tabla 35. Coste mano de obra

Coste equipos:

Teniendo en cuenta el coste de éstos en el almacén, incrementados con el coste de transporte, carga y descarga en obra...

Equipo	Cantidad	Precio (€)	Precio total (€)
Multiplicadores velocidad	3	4.850	14.550
Generador eléctrico	3	6.250	18.750
Electrolizador	1	65.000	65.000
Compresor	1	98.000	98.000
Almacenamiento	1	40.000	40.000
			Total
			236.300

Tabla 36. Coste de los equipos

Coste elementos de control:

Elementos empleados en la regulación y control de la instalación.

Elementos control	Precio Total (€)
Ordenador sobremesa	1.095
Medidor pH	285
Total	1.380

Tabla 37. Coste de los elementos de control

Coste total:

Presupuesto total de ejecución del material, donde se presenta el coste total de la instalación.

A la suma de los costes mostrados anteriormente, hay que añadir los trámites administrativos que se deben realizar para llevar a cabo la instalación de la planta. Esto se determina estimando sobre el presupuesto en cuestión, los gastos generales y las cargas fiscales, así como impuestos y beneficio industrial, obteniéndose el presupuesto de ejecución por contrata. Además se incluye como coste de inversión los recursos consumidos y esfuerzo realizado en el desarrollo del proyecto.

	Coste (€)
Presupuesto y ejecución del material	293.680
+ 20% gastos generales y carga fiscal	58.736
Suma	352.416
+ 6% beneficio industrial	21.145
Total ejecución	373.561
+ 7% proyecto y dirección obra	26.149
Presupuesto total obra	399.710
IVA (21%)	83.939
TOTAL (€)	483.649

Tabla 38. Coste total de inversión.

La puesta en funcionamiento de nuestro proyecto necesitaría una inversión inicial de **483.649 €**.

Periodo de recuperación del capital

El período de recuperación del capital (PR) también es conocido como el plazo de recuperación del capital o el período de recuperación de la inversión. El período de recuperación también es un método común para evaluar una inversión que presenta una técnica sencilla basada en la forma en que rápidamente se puede recuperar el capital invertido para su uso en inversiones futuras.

Considerando que el coste de la energía en los motores de riego de la Comunidad de L'estell y Rojas fuesen constantes (sin variación a lo largo del tiempo), y dado que con un solo molino no llegaríamos a cubrir el total de las necesidades energéticas de dichos motores (193.416 Kwh necesarios frente a los 107.234 Kwh conseguidos), estimamos que llegamos a cubrir 20.591 € de los 37.140 € que gastamos anualmente, por lo que el periodo de recuperación sería el siguiente:

$$PR = \frac{\text{Inversión (€)}}{\text{Beneficio Neto (€)}} = \frac{483.649}{20.591} = 23,5$$

Por lo que tardaríamos unos 23 años y 6 meses en recuperar nuestra inversión.

A estos costes habría que añadir los costes de rehabilitación del molino, tales como, en qué situación se encuentra, si las ruedas hidráulicas se encuentran en buenas condiciones de funcionamiento...

VI. 3 Con Turbinas

En este caso, al contar con un grupo bulbo con turbina y generador, los costes serian los mismos que en caso anterior, salvo que en lugar de necesitar multiplicadores de velocidad y generador eléctrico, solamente necesitaríamos el grupo bulbo con turbina y generador ya mencionados.

Grupo Bulbo:

Velocidad de rotación de la turbina (N_t): 400 rpm

Diámetro de las palas (D_t): 0,75m

Altura del salto (H_n): 3m

Marca: Hydrotu

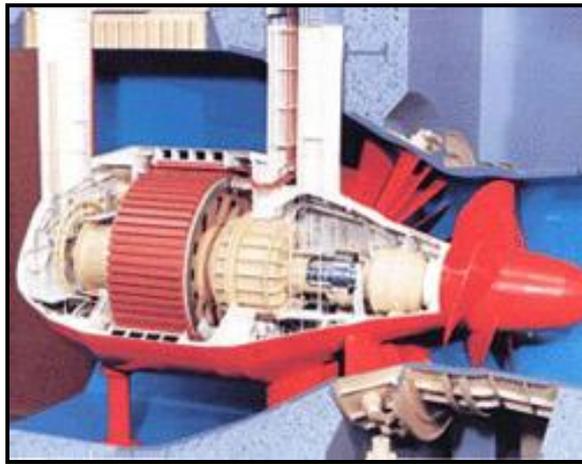


Figura 44. Grupo Bulbo con turbina y generador.

VI. 4. Presupuesto con Turbinas hidráulicas.

Coste mano de obra

Gasto que supondrá el jornal de los posibles operarios que participan en la ejecución de las actividades propuestas.

	Cantidad	H/pers.	Precio (€/h)	Precio total (€)
Personal técnico	1	1600	35	56.000
			Total	56.000

Tabla 39. Coste mano de obra

Coste equipos:

Teniendo en cuenta el coste de éstos en el almacén, incrementados con el coste de transporte, carga y descarga en obra...

Equipo	Cantidad	Precio (€)	Precio total (€)
Grupo Bulbo	3	12.500	37.500
Electrolizador	1	65.000	65.000
Compresor	1	98.000	98.000
Almacenamiento	1	40.000	40.000
			Total
			240.500

Tabla 40. Coste de los equipos

Coste elementos de control:

Elementos empleados en la regulación y control de la instalación.

Elementos control	Precio Total (€)
Ordenador sobremesa	1.095
Medidor pH	285
Total	1.380

Tabla 41. Coste de los elementos de control

Coste total:

Presupuesto total de ejecución del material, donde se presenta el coste total de la instalación.

A la suma de los costes mostrados anteriormente, hay que añadir los trámites administrativos que se deben realizar para llevar a cabo la instalación de la planta. Esto se determina estimando sobre el presupuesto en cuestión, los gastos generales y las cargas fiscales, así como impuestos y beneficio industrial, obteniéndose el presupuesto de ejecución por contrata. Además se incluye como coste de inversión los recursos consumidos y esfuerzo realizado en el desarrollo del proyecto.

	Coste (€)
Presupuesto y ejecución del material	297.880
+ 20% gastos generales y carga fiscal	59.576
Suma	357.456
+ 6% beneficio industrial	21.447
Total ejecución	378.903
+ 7% proyecto y dirección obra	26.523
Presupuesto total obra	405.427
IVA (21%)	85.140
TOTAL (€)	490.566

Tabla 42. Coste total de inversión.

La puesta en funcionamiento de nuestro proyecto necesitaría una inversión inicial de **490.566 €**.

Periodo de recuperación del capital

Considerando que el coste de la energía en los motores de riego de la Comunidad de L'estell y Rojas fuesen constantes (sin variación a lo largo del tiempo), y dado que con un solo molino no llegaríamos a cubrir el total de las necesidades energéticas de dichos motores (193.416 Kwh necesarios frente a los 123.618 Kwh conseguidos en este caso), estimamos que llegamos a cubrir 23.737 € de los 37.140 € que gastamos anualmente, por lo que el periodo de recuperación sería el siguiente:

$$PR = \frac{\text{Inversión (€)}}{\text{Beneficio Neto (€)}} = \frac{490.566}{23.737} = 20,67 \text{ años}$$

Por lo que tardaríamos unos 20 años y 8 meses en recuperar nuestra inversión.

En este caso, aunque la inversión inicial sería mayor (490.566€ frente a los 483.649€ del caso anterior), se tardaría casi 3 años menos en recuperar dicha inversión, además se conseguiría una mayor producción de hidrógeno y por tanto un mayor beneficio neto, por lo que cabe pensar que resultaría más rentable trabajar con turbinas en lugar de con la “viejas” ruedas hidráulicas.

VII. Conclusiones

- Sería posible la producción de hidrógeno en los molinos de la Real Acequia de Moncada, siendo el molino de “Martinet” el molino del cual se obtendría la mayor producción, 4.950 Kg de media anual.
- Se podría utilizar dicho hidrógeno como fuente de energía en los motores de riego de la Comunidad de L’Estell y Rojas, aunque con esta cantidad no llegaríamos a cubrir el total de las necesidades.
- Habría que tener en cuenta que en época de sequia la producción de hidrogeno se vería afectada de manera considerable.
- El coste de inversión estimado es elevado (483.649 €) y con un periodo de recuperación de capital bastante lento (23 años y 6 meses), por lo que en caso de seguir con el proyecto, habría que hacer un estudio más exhaustivo sobre los costes de inversión.
- Se ha comprobado que utilizando turbinas en lugar de ruedas hidráulicas, se consigue una mayor producción de hidrógeno, 5.706 Kg/año frente a 4950 Kg/año en el molino de Martinet, y que a pesar de que necesitaríamos un coste de inversión mayor (490.566 €), el periodo de recuperación sería menor (20 años y 8 meses), consiguiendo una mayor producción de hidrógeno y por tanto un mayor beneficio neto, por lo que cabe pensar que resultaría más rentable trabajar con turbinas en lugar de con las “viejas” ruedas hidráulicas.
- Los resultados económicos obtenidos están lógicamente condicionados por las hipótesis realizadas, cabría realizar un estudio de campo para analizar si los rendimientos y potencias, sacados de la bibliografía, son correctos, y los costes estimados son cercanos a la realidad.

Nota: En el CD-ROM que se adjuntó se encuentran algunos de los cálculos realizados en el “Excel” (debido al tamaño de las tablas Excel no se han podido adjuntar todos).

VIII. Bibliografía

- Agüeros Yañez, Francisco (2012). Máquinas hidráulicas y fenómenos transitorios. La Rueda Hidráulica. Universidad Veracruzana, facultad de ingeniería civil.
- Amos, W., (1998). "Costs of Storing and Transporting Hydrogen," Report NREL/TP-570-25106, National. Renewable Energy Laboratory, (220 pp., USD 47.00, NTIS. Order No. DE 00006574).
- Barberá, B (2002). Cataleg dels molins fariners d'aigua de la provincia de Castelló. ISBN- 84-89555-69-9.
- Bockris JO, Veziroglu TN. Estimates of the price of hydrogen as a medium for wind and solar sources. Int J Hydrogen Energy 2007;32:1605e10.
- Curtis-Thomas, Clarie, (2012). Institution of Gas Engineers and Managers.
- Ford (1998). "Ford's R&D on direct hydrogen fuel cells systems", EVS-15.
- Gamallo, F., (2001) "Patagonian wind exported as liquid hydrogen". Proceedings from Hypothesis IV, Vol. 1, Stralsund, Germany, September 2001.
- Gaudernack (1998), B."Hydrogen", Elektro no. 1 and letter of 29.5.1998 to Bellona.
- Gensler, D & Kinzli, K. (2011). Examining the feasibility of hydropower generation in irrigation canals: A case study of the middle Rio Grande Conservancy District. ISSN 0733-9437.
- Guinot, E. (2007), "Una Historia de La Huerta de Valencia" in *El patrimonio hidráulico del bajo Turia. L'Horta de València*, eds. J. Hermosilla y ESTEPA, Consellería de Cultura y Deporte de la Generalitat Valenciana, Valencia, pp. 60-101.

- Guinot, E., Ferri Ramírez, M., Mangué Alférez, I., Martí, J., Martínez, A., Sales Martínez, V. y Selma Castell, S. (1999), *La Real Acequia de Moncada. Colección Camins d'Aigua*, Generalitat Valenciana, Conselleria D'Agricultura Pesca i Alimentació, Valencia.
- GVA (2010a), *Memoria Informativa. Plan de Acción Territorial de Protección de la Huerta de Valencia. Propuesta para la información pública* disponible: <http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=61473&idioma=C> [2010, 09/07].
- Hart, D. and Bauen, A., (1998). “Fuel Cells: Clean power, clean transport, clean future”, ISBN 1840830606, Financial Times Energy Publishing, London, UK.
- Heredia Sánchez, Luis Felipe (2009). Construcción y ensayo de una rueda hidráulica de corriente libre de 2 m de diámetro. Universidad Católica del Perú.
- Kai Zeng, Dongke Zhang (2010). *Progress in Energy and Combustion Science* 36 (2010) 307–326; *Catalysis Today* 139 (2009) 244–260).
- King, (2000). *Journal of Power Sources*, Vol. 86/1-2.Elsevier.
- Levene J, Kroposki B, Sverdrup G. Wind energy and production of hydrogen and electricity e opportunities for renewable hydrogen. NREL; 2006. NREL/CP 560-39534.
- Levene JI. Current (2005) hydrogen generation from wind with electricity co-production, http://www.hydrogen.energy.gov/h2a_prod_studies.html (Enero 2013).
- Levene JI. Current (2005) hydrogen generation from wind, http://www.hydrogen.energy.gov/h2a_prod_studies.html (Enero 2013)-
- Mayersohn, Norman S. (1993). “The Outlook for Hydrogen.” *Popular Science*; Vol. 243

- Mosquera, P., Merino, L. (2006). Empresa y energías renovables. ISBN 84-96169-70-7. (243-245).
- Ortega Reig, Mar Violeta (2011). La robustez frente a la sequía en los sistemas comunales: el caso de la gestión del agua en la Real Acequia de Moncada. Trabajo de investigación del programa de doctorado de ingeniería del agua y medio ambiente.
- Sales Martínez, V. (1986), *El regadío en la demarcación de la Real Acequia de Montcada (tesina de licenciatura)*, Universidad de Valencia, Valencia.
- Sherif S, Barbir F, Veziroglu T. Wind energy and the hydrogen economy e review of the technology. Solar Energy 2005.
- Soler, A. (2000), "Alguns interrogants sobre el diseny inicial de l'Horta de València", *Cuadernos de Geografía*, vol. 67/68, pp. 209-218.
- <http://www.awea.org>. Enero 2013.
- <http://www.aeh2.org>. Noviembre 2012.
- <http://www.comunitatvalenciana.com>. Diciembre 2012.
- <http://www.fuelcelltoday.com>. Diciembre 2012.
- <http://fundacioassut.org>. Enero 2012.
- <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/> Canal:8409 Enero 2012.
- <http://www.icma.unizar-csic.es>. Diciembre 2012.
- <http://www.scoop.it>. Noviembre 2012.
- <http://www.zagrilla.es>. Noviembre 2012.

ANEJO I

Tablas comparativas de los cálculos con caudales diezminutales – diarios en los casos de ruedas hidráulicas con rendimiento variable (azul) y rendimiento fijo (rojo).

Cálculo con Ruedas Hidráulicas de Rendimiento variable				
AÑOS 2000-2010	Molinos	Cálculo con caudales Diezminutales 2000-2010	Cálculo con caudales Diarios 2000-2010	Diferencia en %
Kg H₂ almacenado	Testar	3966	3964	0.05
	Escaleta	3966	3964	0.05
	Martinet	4601	4599	0.05
	Ferrando	4532	4493	0.85
	Tandera	3786	3796	-0.26
	Cardona	3147	3140	0.22
	Batán	3240	3223	0.53
	La penya	2913	2888	0.85
	Bonany	2386	2382	0.17
	Godella	1807	1800	0.35
	Moncada	2210	2194	0.72
	Alfara	2354	2348	0.25
	Vinalesa	1264	1261	0.28
	Frigola	253	251	0.83
	Pallús	295	293	0.83
	Albalat	253	251	0.83
	Museros	1362	1362	0.01
	La llima	1714	1707	0.40
	Magdalena	1257	1257	0.01
	Baix	211	209	0.83
	Capa	211	209	0.83
	Cartuja	253	251	0.83
	Frares	253	251	0.83
	Vila del puig	274	272	0.83
	Puzol	211	209	0.83

Cálculo con Ruedas Hidráulicas de rendimiento fijo (75%)				
AÑOS 2000-2010	Molinos	Cálculo con caudales Diezminutales 2000-2010	Cálculo con caudales Diarios 2000-2010	Diferencia en %
Kg H₂ almacenado	Testar	3408	3395	0.39
	Escaleta	3408	3395	0.39
	Martinet	3953	3938	0.39
	Ferrando	4242	4222	0.49
	Tandera	3893	3891	0.07
	Cardona	3108	3107	0.03
	Batán	677	672	0.80
	La penya	2727	2714	0.49
	Bonany	2241	2238	0.16
	Godella	380	377	0.80
	Moncada	2070	2062	0.40
	Alfara	2442	2439	0.12
	Vinalesa	1058	1055	0.31
	Frigola	207	206	0.65
	Pallús	242	240	0.65
	Albalat	207	206	0.65
	Museros	1140	1139	0.10
	La llima	1607	1606	0.08
	Magdalena	1053	1051	0.10
	Baix	173	172	0.65
	Capa	173	172	0.65
	Cartuja	207	206	0.65
	Frares	207	206	0.65
	Vila del puig	225	223	0.65
	Puzol	173	172	0.65

ANEJO II

Diagrama universal de una turbina Kaplan para la obtención de los valores unitarios N_{11} y Q_{11} .

