

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA**

TESIS

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE
HIDROENERGÍA EN LA EMPRESA WYMAQ CAJAMARCA,
2017”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER
WILDER DAVID AQUINO QUIROZ**

CAJAMARCA- PERÚ

2017

DEDICATORIA

Al ser celestial de nuestro universo, Dios, por guiar mi camino en este sendero y permitir que tome las decisiones correctas, por darme salud, vida y por darme a todos y cada uno de mis seres queridos tanto familiares como amigos.

A Ofelia y Gilberto, mis padres, que trabajaron hombro a hombro para darme lo necesario para culminar mis objetivos, aunque él no pudo verme culminar mis metas, pero sé que desde el cielo bendice mis decisiones y acciones en el día a día.

A mis hermanos(as) que me brindaron el apoyo constante para poder seguir adelante y no desvanecer en el camino.

A mis docentes por brindarme el conocimiento suficiente para obtener una correcta formación profesional y personal.

A mis amigos por haberme elegido a ser parte de su vida y por tenerlos en la mía y por su apoyo incondicional en momentos difíciles de mi vida (Aquino, 2017).

AGRADECIMIENTO

En esta tesis agradezco infinitamente a ese gran grupo de personas que formaron parte de mi vida para obtener una formación profesional, a estos que estuvieron conmigo en momentos de alegría y tristeza, en momentos de crisis, en momentos malos para mí, estas personas que integran mis amigos y familiares.

A mi madre, que a pesar de que tuvo que soportar la partida de mi padre hacia el más allá, estuvo ahí incansablemente apoyándome para culminar mi formación profesional y que siempre estará ahí para cuando yo lo necesite.

A mis hermanos y hermanas que siempre pusieron su confianza en mi persona para avanzar cada vez en mi vida diaria y profesional y que son un gran orgullo para mí (Aquino, 2017).

RESUMEN

La quema de combustibles fósiles - carbón, petróleo y gas, se han convertido en las principales causas de la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono (CO_2), el gas más peligroso, no debido al ataque en sí a la atmósfera sino en la gran cantidad de este gas que existe, en la generación del efecto invernadero. Según los especialistas, la producción energética provoca, además, a nivel mundial, el mayor consumo de combustibles fósiles; claro está que con diferencias importantes entre unos países y otros.

En la actualidad existen diversos tipos de energía los cuales están apoyando a la conservación del medio ambiente. Tales como: energía hidráulica, eólica, fotovoltaicas, termonuclear, etc. Esta investigación es una propuesta, que permitirá dar a conocer y poner en valor una nueva fuente de energía a través del hidrógeno del agua, aprovechando el recurso hídrico de nuestra región Cajamarca. Este tipo de energía no es contaminante y favorece a la conservación del medio ambiente, dejando de lado la utilización de combustibles fósiles los cuales generan emisiones de compuestos químicos contaminantes.

Este tipo de energía podría ser usado por empresas industriales para generar su propia fuente de energía aprovechando el recurso hídrico.

El hidrógeno (H_2) es un combustible alternativo, que utiliza cuerpos de agua (lagos, ríos, manantiales, etc.) para su obtención. Además, realiza procesos limpios (uso de la dinámica del agua) para generar la electrolisis, es decir, no emite gases contaminantes. El hidrógeno, es un combustible complementario y alternativo, frente a los combustibles existentes (combustible fósil y otros), los cuales están propensos a su agotamiento en el futuro. La obtención de hidrógeno como fuente de combustible.

Palabras Clave: Combustible fósil, efecto invernadero, tipos de energía, hidrógeno del agua, conservación ambiental, recurso hídrico, combustible alternativo, procesos limpios, electrólisis.

ABSTRACT

The burning of fossil fuels - coal, oil and gas - have become the main causes of the emission into the atmosphere of carbon dioxide (CO₂), the most dangerous gas, not because of the attack on the atmosphere but in the Large amount of this gas that exists, in the generation of the greenhouse effect. According to experts, energy production also causes the world's largest consumption of fossil fuels; Of course, with significant differences between countries.

At present there are various types of energy which are supporting the conservation of the environment. Such as: hydropower, wind, photovoltaic, thermonuclear, etc. This research is a proposal that will make known and value a new energy source through the hydrogen of water, taking advantage of the water resource of our region Cajamarca. This type of energy is not polluting and favors the conservation of the environment, leaving aside the use of fossil fuels which generate emissions of chemical pollutants.

This type of energy could be used by industrial companies to generate their own energy source by taking advantage of the water resource.

Hydrogen (H₂) is an alternative fuel, which uses water bodies (lakes, rivers, springs, etc.) to obtain them. In addition, it performs clean processes (use of water dynamics) to generate the electrolysis, ie it does not emit polluting gases. Hydrogen is a complementary and alternative fuel, compared to existing fuels (fossil fuel and others), which are prone to its future depletion. Obtaining hydrogen as a fuel source.

Keywords: Fossil fuel, greenhouse effect, energy types, water hydrogen, environmental conservation, water resource, alternative fuel, clean processes, electrolysis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT	iv
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL	3
1.2.2 DELIMITACIÓN SOCIAL	3
1.2.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	3
1.2.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3.1 PROBLEMA GENERAL.....	3
1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.5.1 Hipótesis General	4
1.5.2 Hipótesis Específicas	4
1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE	4
1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES	4
1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	5
1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.7.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	6
1.7.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	6

1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.8.1 POBLACIÓN.....	7
1.8.2 MUESTRA	7
1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	7
1.9.1 TÉCNICAS.....	7
1.9.2 INSTRUMENTOS	7
1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.10.1 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.10.2 IMPORTANCIA.....	8
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	9
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	36
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	38
CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS	
4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL.....	68
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
CONCLUSIONES.....	70
RECOMENDACIONES.....	71
FUENTES DE INFORMACIÓN	72
ANEXOS:.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Panta hidroeléctrica.....	11
Figura 2. Esquema del inyector de una turbina Pelton.....	13
Figura 3. Esquema del rodete de una turbina Pelton.....	14
Figura 4. Vista frontal y sección lateral (izquierda) y sección inferior de una cuchara.....	15
Figura 5. Producción de hidrógeno.....	21
Figura 6. Ciclos de disociación térmica para la obtención de hidrógeno.....	22
Figura 7. Esquema del funcionamiento de una celda de hidrógeno de baja temperatura.....	25
Figura 8. métodos de producción de hidrógeno solar.....	27
Figura 9. Producción de hidrógeno por electrolisis a partir de radiación solar.....	29
Figura 10. Procesos termoquímicos para la producción de hidrógeno solar.....	31
Figura 11. Celda de combustible de membrana de intercambio de protones.....	34
Figura 12. Diseño y construcción de una celda de combustible de membrana intercambiadora de protones.....	35
Figura 13. Esquema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.....	39
Figura 14. Gráfico de obtención de hidrógeno mediante hidroenergía.....	40
Figura 15. Plano de generador eléctrico de 20 kW.....	51
Figura 16. Plano de detalles de turbina Pelton.....	54
Figura 17. Plano de detalles celda de hidrógeno.....	56
Figura 18. Esquema de perfil de tubería fuerza.....	57
Figura 19. Línea de carga hidráulica en tubería fuerza.....	62
Figura 20. Plano de partes Del Sistema De Producción De Hidrógeno Mediante Hidroenergía.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2. Velocidades específicas Ns, según tipo de turbina	16
Tabla 3. Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua	43
Tabla 4. Ficha de observación de valores de hidrógeno mediante energía.	44
Tabla 5. Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros.	45
Tabla 6. Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua para un dato determinado.....	47
Tabla 7. Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros para un dato determinado	49
Tabla 8. Dimensionamiento de la celda de hidrógeno (electrólisis).....	55
Tabla 9. Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros para una proyección a un año de funcionamiento)	64
Tabla 10. Presupuestos de suministros para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.....	65
Tabla 11. Presupuestos de para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.....	66
Tabla 12. Resumen de presupuestos de para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.....	67
Tabla 13. Hipótesis general vs. Resultados obtenidos.....	68
Tabla 14. Hipótesis generales vs. Resultados obtenidos.....	69

INTRODUCCIÓN

Gutiérrez (2005) indica que, en la historia de la Química, fue Cavendish quien representa al hidrógeno por primera vez en 1766. Además, identifica a dos gases diferentes, formando parte del agua. Asimismo, le da el nombre de aire inflamable. Más tarde, Antoine Lavoisier le da el nombre de hidrógeno, generador de agua.

Además, indica que, en el siglo XVIII, el hidrógeno encontró su primera aplicación práctica, por el ejército francés para globos de reconocimiento. Un siglo después, Alemania lo empleó en sus dirigibles para cruzar el océano Atlántico e incluso como combustible para la propulsión de los llamados Zeppelines.

Por otro lado, después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó como combustible de motores de vehículos de todo tipo, incluidos locomotoras y submarinos, pero sin gran éxito.

Rifkin (2002) indica que el Hidrógeno (H_2) se presenta como nueva alternativa en el campo de la energía, llegándose a considerar por sus ventajas, como un vector energético capaz en el futuro de sustituir gran parte los combustibles convencionales. Esto se presenta muy oportunamente ante la situación energética actual de no sostenibilidad por el empleo poco racional de la energía y los inconvenientes medioambientales que presenta el uso intenso de los combustibles fósiles, principales causantes del calentamiento global. Es así como ya se plantea una próxima Economía de Hidrógeno basada en el uso extendido de este elemento como energético, tanto para el transporte vehicular, el principal consumidor de petróleo, como para generar electricidad, junto con otras aplicaciones.

Sin embargo, el hidrógeno, es el elemento más abundante del Universo, al no encontrarse libre en la naturaleza, es necesario producirlo a partir de sustancias hidrogenadas, principalmente agua e hidrocarburos. La fácil disponibilidad y

abundancia de los materiales de donde se puede obtener el hidrógeno, así como la diversidad de medios para su obtención, le proporcionan gran potencial como alternativa energética. Esto, aunado al hecho de que la utilización del H₂ deja sólo agua como único residuo, lo hace muy favorable al medio ambiente, más si se produce con fuentes de energía renovables, como solar, eólica, hidráulica, entre otras. Estas características impulsarán una economía energética basada en abundante hidrógeno, la denominada Economía de Hidrógeno. (Carvajal Osorio, Babativa Jhon & Alonso Julio, 2009)

Es muy importante conseguir nuevas fuentes de combustibles tal como el hidrógeno para disminuir la contaminación ambiental, y para reemplazar los combustibles fósiles los cuales están llegando a su agotamiento

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Durante los últimos tiempos se ha generado un gran incremento de motores alimentados por combustibles fósiles, entre los efectos producidos por el uso de estos combustibles a gran escala, las más importantes y de más seriedad para el medio ambiente son la lluvia ácida y el calentamiento global. Este fenómeno se ha convertido en uno de los íconos de la degradación del medio ambiente provocada por la industrialización. Se produce cuando el dióxido de azufre (SO_2) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) reaccionan con el oxígeno atmosférico y se disuelven en el agua de lluvia, formando los ácidos sulfúrico y nítrico. El viento puede provocar que estos corrosivos elementos recorran miles de kilómetros antes de precipitarse en forma de lluvia, rocío, granizo, nieve o niebla, e incluso en forma de gases y partículas ácidas, lo que se conoce como "deposición seca".

La quema de combustibles fósiles - carbón, petróleo y gas, se han convertido en las principales causas de la emisión a la atmósfera de dióxido de carbono (CO_2), el gas más peligroso, no debido al ataque en sí a la atmósfera sino en la gran cantidad de este gas que existe, en la generación del efecto invernadero.

Según los especialistas, la producción energética provoca, además, a nivel mundial, el mayor consumo de combustibles fósiles; claro está que con diferencias importantes entre unos países y otros.

Debido a los cambios climáticos y a los cambios en los ecosistemas terrestres, la vegetación característica de cada región se verá afectada. Los bosques de pinos se desplazarán hacia latitudes más altas, la vegetación tropical se extenderá sobre una franja más ancha de la superficie terrestre, y la flora típica de la tundra y la taiga ocuparán un área más reducida.

Como consecuencia, al alterarse la vegetación característica de muchas reservas naturales, creadas para proteger el hábitat de especies amenazadas, estas reservas podrían dejar de ser el hábitat ideal para las mismas, ocasionando su extinción.

De igual manera, al ocurrir el proceso de desertificación en algunas áreas también se destruirá el hábitat de muchas especies. En cuanto a los hábitats acuáticos, al aumentar la temperatura del agua superficial, la concentración de oxígeno disuelto presente en los mismos se reducirá. Esto hará que algunas de las especies acuáticas no puedan sobrevivir bajo esas condiciones, causando su eliminación en dichos ecosistemas (Familiar, 2011).

1.2 . DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

La presente Tesis se llevó a cabo en la empresa WYMAQ en la Región, Provincia y Distrito de Cajamarca – Perú en el año 2017.

1.2.2 DELIMITACIÓN SOCIAL

Importancia del conocimiento a la sociedad del mundo entero para uso de combustible renovable alternativo sin generación de contaminantes hacia el medio ambiente y tener una mejor calidad de vida.

1.2.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Esta investigación se llevó a cabo en los meses de octubre de 2016 a mayo de 2017 en un total de 8 meses.

1.2.4 DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

La siguiente investigación trató de una propuesta de diseño de un sistema de hidroenergía para producción de hidrógeno como combustible, que se realizó en la empresa WYMAQ - Cajamarca

1.3 . PLANTEAMIENTO DE PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 PROBLEMA GENERAL

¿Será posible obtener hidrógeno mediante la propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017?

1.3.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál será el diseño propuesto para producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017?

¿Cuál será la capacidad de hidroenergía para producción de hidrógeno con el diseño propuesto en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta teórica de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Elaborar un sistema teórico para la obtención de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017.

Evaluar la capacidad hidroenergética, con la obtención del hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Hipótesis General

Con la propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017, es posible producir hidrógeno como fuente alternativa de energía.

1.5.2 Hipótesis Específicas

El diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017, tendrá una eficiencia muy considerable con respecto a los demás sistemas conocidos.

Con una mínima capacidad de hidroenergía se podrá producir una considerable cantidad de hidrógeno mediante el sistema propuesto en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

Hidroenergía

1.6.2 VARIABLES DEPENDIENTES

Producción de hidrógeno

1.6.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Tabla 1: Operacionalización de variables

VARIABLE		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE	Hidroenergía	Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Se puede transformar a muy diferentes escalas.	La hidroenergía se obtiene del movimiento del agua que cae por gravedad desde cierta altura y esta hace mover una rueda llamada turbina la cual genera un movimiento a un rotor y este genera energía eléctrica.	CAPTADOR DE AGUA	VOLUMEN (m3)
				FLUIDO DE AGUA	TIPO DE MATERIAL Y SUS PROPIEDADES HIDRAULICAS
					CAUDAL (m3/s)
					VELOCIDAD DEL FLUIDO
				TURBINA	CARACTERISTICAS HIDRAULICAS
					TORQUE (RPM)
				GENERADOR	TIPO DE MATERIAL Y SUS PROPIEDADES HIDRAULICAS
POTENCIA (kW)					
DEPENDIENTE	Producción de hidrógeno	Se realiza mediante diversos métodos que requieren la separación del hidrógeno de otros elementos químicos como el oxígeno (del agua).	Es la obtención de energía mediante un proceso de electrolisis mediante uso de cuerpos de agua H ₂ O.	ELECTROLISIS	POTENCIA (kW)
				RATIO DE GENERACION	VOLUMEN (m3)
					CANTIDAD DE HIDRÓGENO
					VOLUMEN (m3)

Fuente (Elaboración propia, 2017)

1.7. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación analiza cómo es y cómo se manifiesta el fenómeno y sus componentes; detalla el fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos, por lo cual es una investigación descriptiva (Vásquez, 2005).

1.7.2 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación tiene la finalidad de explicar el comportamiento de una variable en función de otra. Pretenden señalar que la ocurrencia de un fenómeno depende de otro; es decir establecer relación causa-efecto, por lo cual es de nivel explicativo (Vásquez, 2005).

1.7.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se aplican los principios descubiertos a casos particulares, a partir de un enlace de juicios, por ello el método es lógico deductivo (Vásquez, 2005).

1.7.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La siguiente investigación tiene un diseño Cuantitativo, pues cuantifica relaciones entre variables, la variable independiente o predictiva y la variable dependiente o resultado; este diseño tiene una manera excelente de finalizar los resultados y probar o refutar una hipótesis (Sousa, Driessnack & Costa. 2007).

1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

1.8.1 POBLACIÓN

Datos de producción de hidrógeno con un sistema mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca para un año de funcionamiento.

1.8.2 MUESTRA

Datos de producción de hidrógeno con un sistema mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante 24 horas de funcionamiento.

1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

1.9.1 TÉCNICAS

La técnica que se utilizó en esta investigación es el fichaje ya que se registró los datos que se van obteniendo en los instrumentos llamados fichas, las cuales, debidamente elaboradas y ordenadas contienen la mayor parte de la información que recopilaremos en esta investigación.

1.9.2 INSTRUMENTOS

Ficha de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua.

Ficha de observación de hidrógeno mediante energía.

Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno

1.10. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen diversos tipos de energía los cuales están apoyando a la conservación del medio ambiente. Tales como: energía hidráulica, eólica, fotovoltaicas, termonuclear, etc. Esta investigación es una propuesta, que permitirá dar a conocer y poner en valor una nueva fuente de energía a través del hidrógeno del agua, aprovechando el recurso hídrico de nuestra región Cajamarca. Este tipo de energía no es contaminante y favorece a la conservación del medio ambiente, dejando

de lado la utilización de combustibles fósiles los cuales generan emisiones de compuestos químicos contaminantes.

Este tipo de energía podría ser usado por empresas industriales para generar su propia fuente de energía aprovechando el recurso hídrico.

1.10.2 IMPORTANCIA

El hidrógeno (H_2) es un combustible alternativo, que utiliza cuerpos de agua (lagos, ríos, manantiales, etc.) para su obtención. Además, realiza procesos limpios (uso de la dinámica del agua) para generar la electrolisis, es decir, no emite gases contaminantes. El hidrógeno, es un combustible complementario y alternativo, frente a los combustibles existentes (combustible fósil y otros), los cuales están propensos a su agotamiento en el futuro. La obtención de hidrógeno como fuente de combustible, puede ser obtenido por cualquier persona previa capacitación, debido a su bajo costo de producción. El agua con el cual se obtiene el hidrógeno es reutilizado, evitando usos de grandes volúmenes de agua. Este combustible es cuantificable.

La contaminación ambiental existente en nuestro planeta conlleva a la búsqueda de nuevas fuentes de energía, haciendo uso de nuestros recursos naturales, para lograr un desarrollo sostenible.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 A NIVEL INTERNACIONAL

En Colombia, Carvajal Osorio et al. (2009). Desarrollaron el artículo científico “Estudio sobre producción de H₂ con hidroelectricidad para una economía de hidrógeno en Colombia”, Con el objetivo de tener una futura Economía de Hidrógeno en Colombia en aprovechamiento de abundantes recursos hidroeléctricos, ésta tiene un tipo de investigación descriptiva y concluye que existen, en esta primera aproximación, indicaciones positivas de la viabilidad técnica, económica y ambiental para el aprovechamiento en un futuro cercano de abundante H₂ producido en Colombia con los suficientes recursos hidroeléctricos con que cuenta el país, como contribución a un desarrollo sostenible dentro de una Economía de Hidrógeno globalizada.

En México, Álvaro (2007) Desarrolló la tesis “El hidrógeno como fuente alterna de energía”, con el objetivo de crear conciencia en el uso eficiente del hidrógeno como una fuente de energía segura y renovable para su posterior conversión mediante una celda de combustible de energía eléctrica, siendo esta investigación de tipo explorativa y llegando a una conclusión de que en México la aplicación de esta tecnología dependerá de la manifestación y mayor desarrollo que experimenten las celdas de combustible en países desarrollados y pioneros En el uso de esta tecnología, como también del marco legal eléctrico de nuestro país. Si bien es cierto que los costos de instalación son elevados, las pruebas que se han realizado han demostrado que los costos de operación y mantenimiento son mínimos.

En Colombia, (Velásquez Piedrahíta & Quiceno Castañeda, 2013) Desarrollaron la tesis “Diseño de un sistema de generación de hidrógeno por electrólisis” Este proyecto se desarrolla con el objetivo de diseñar un

sistema de generación de hidrógeno (H_2) por electrólisis para la celda de combustible de membrana de intercambio protónico que fue diseñada y construida en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Pereira, esta investigación es de tipo explorativa y llega a la conclusión de que la selección del material tanto de ánodo como del cátodo son de vital importancia, ya que su vida útil se puede ver afectada por el contacto con los gases generados en la electrólisis. La electrólisis debe ser alimentada con corriente continua, mas no con corriente alterna, ya que el cambio de intensidad en este tipo de corriente puede volver inestable la reacción con el Hidrógeno y oxígeno, gases altamente inflamables.

2.1.2 A NIVEL NACIONAL

En Perú también hacen un estudio de combustible gas, (Alberto Castillo & Arturo Malca, 2013) con la tesis “Análisis y propuesta para el diseño de un sistema De supervisión y control para un centro Operacional de distribución de gas natural en la Región Ica” Este proyecto se desarrolla con el objetivo de identificar el sistema de Supervisión y Control que mejor se adecue para un Centro Operacional de distribución de Gas Natural en la región ICA, Además esta investigación es de tipo aplicada y llega a la conclusión que tras el estudio y análisis de los sistemas de supervisión y control, se seleccionó al sistema SCADA como sistema de supervisión y control para el proceso de distribución de gas natural de un centro operativo. también se propuso el diseño del sistema SCADA contemplándose el diseño del HMI, lógica de control.

2.1.3 A NIVEL LOCAL

A nivel local no se encuentra información acerca del tema de producción de hidrógeno u otro gas como combustible a esta investigación por lo cual no se presenta antecedentes.

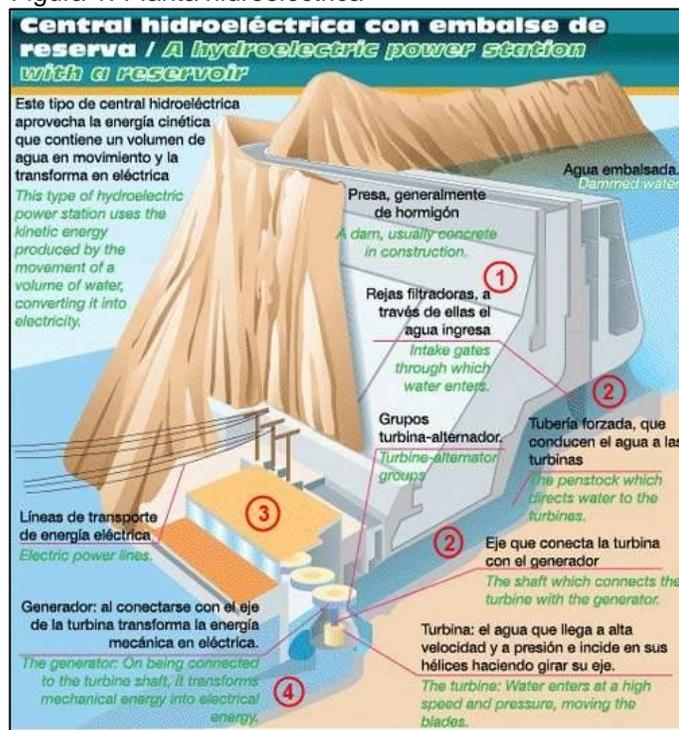
2.2. BASES TEÓRICAS

Hidroenergía. - Es básicamente una forma de la energía generada por la fuerza del movimiento del agua, que una máquina primaria la transforma inicialmente en energía mecánica y luego una máquina secundaria la transforma en energía eléctrica, también se la conoce como hidroeléctrica.

También es una forma de energía renovable, es decir no se agota (al menos mientras subsista el ciclo hidrológico). En pocos lugares todavía la hidroenergía se la transforma en energía mecánica (usando una máquina primaria) pero casi toda la hidroenergía aprovechada en el mundo se la transforma en energía eléctrica, para ello hacemos uso de las denominadas plantas o centrales hidroeléctricas.

Hasta el momento están más expandidas, en su uso, las plantas hidroeléctricas tradicionales (que corresponden en su desarrollo y explotación al siglo XX), aunque desde finales del siglo pasado han ido surgiendo algunas innovaciones que se las conocen como plantas hidrocinéticas (Torres, 2011).

Figura 1: Planta hidroeléctrica



Fuente (Torres, 2011)

Según López (2011) la hidroenergía tiene las siguientes ventajas y desventajas

Ventajas:

Es una energía verdaderamente renovable, puesto que el ciclo del agua no se altera en ningún momento.

No se emite ningún tipo de contaminante a la atmósfera. Además, al no requerir elementos de refrigeración o calentamiento (como otras energías), no se emite ningún tóxico ni se utiliza energía extra.

Una vez puesta en marcha, los costes de mantenimiento son bajos.

La eficiencia energética es alta.

Desventajas:

El tipo de central más utilizado, la que se basa en la construcción de un embalse, inunda y modifica el entorno natural. Además, incide en algunas especies animales, como los peces.

El agua no es de buena calidad, ya que los sedimentos tienden a acumularse en el fondo del embalse, en lugar de fluir de manera natural.

Los buenos emplazamientos son pocos. Además, suelen estar alejados de los núcleos de población, por lo que es necesario el transporte de la energía.

La inversión inicial requerida es muy elevada.

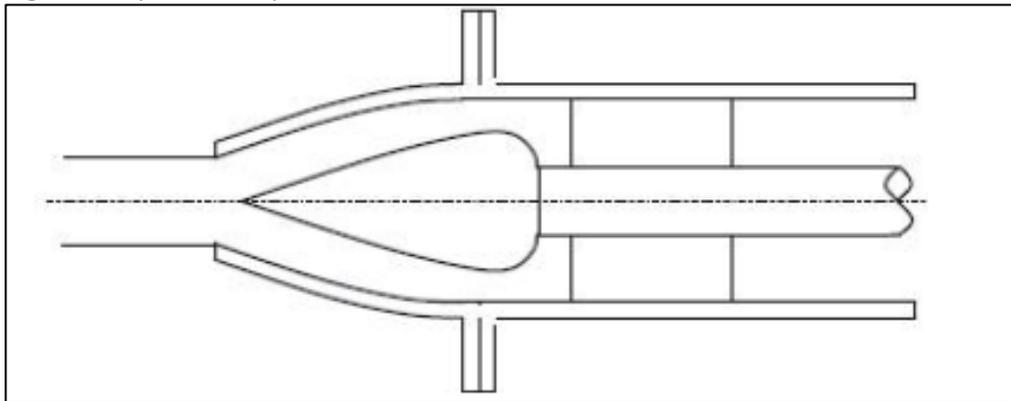
Turbina Pelton para generación de hidroenergía

Las turbinas Pelton, como turbinas de acción o impulso, están constituidas por la tubería forzada, el distribuidor y el rodete, ya que carecen tanto de caja espiral como de tubo de aspiración o descarga. Dado que son turbinas diseñadas para operar a altos valores de H , la tubería forzada suele ser bastante larga, por lo que se debe diseñar con suficiente diámetro como para que no se produzca excesiva pérdida de carga del fluido entre el embalse y el distribuidor.

Características del Distribuidor.

El distribuidor de una turbina Pelton es una tobera o inyector, como el esquematizado en la Figura 2. La misión del inyector es aumentar la energía cinética del fluido, disminuyendo la sección de paso, para maximizar la energía de fluido aprovechada en la turbina, ya que en el rodete de este tipo de turbinas sólo se intercambia energía cinética (tanto la sección 1, de entrada al rodete, como la sección 2, de salida del rodete, están abiertas a la atmósfera). De esta manera, no hay problema para que la sección de la tubería forzada sea mayor, haciendo esta transformación a energía cinética inmediatamente antes de la entrada del fluido al rodete.

Figura 2. Esquema del inyector de una turbina Pelton.



Fuente (Ferrada, 2012)

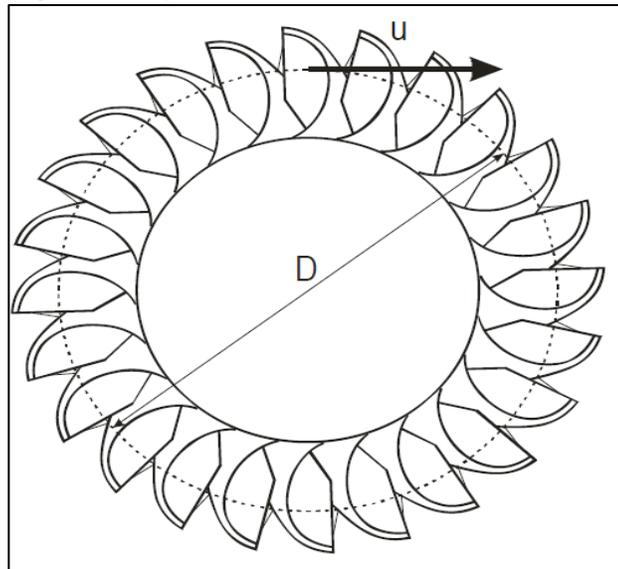
Características del Rodete

El rodete de una turbina Pelton es una rueda con álabes en forma de cucharas o cangilones, con un diseño característico, situados en su perímetro exterior, como se puede observar en la Figura 3. Sobre estas cucharas es sobre las que incide el chorro del inyector, de tal forma que el choque del chorro se produce en dirección tangencial al rodete, para maximizar la potencia de propulsión (P_t).

Las cucharas tienen una forma característica, tal como puede apreciarse en la Figura 4, donde se aprecia la sección de entrada (1) y la sección de salida(2): presentan una mella en la parte externa, son simétricas en dirección axial, y

presentan una cresta central afilada. Las dimensiones de las cucharas, y su número, dependen del diámetro del chorro que incide sobre ellas (d): cuanto menor sea ese diámetro, más pequeñas serán las cucharas y mayor número de ellas se situarán en el rodete.

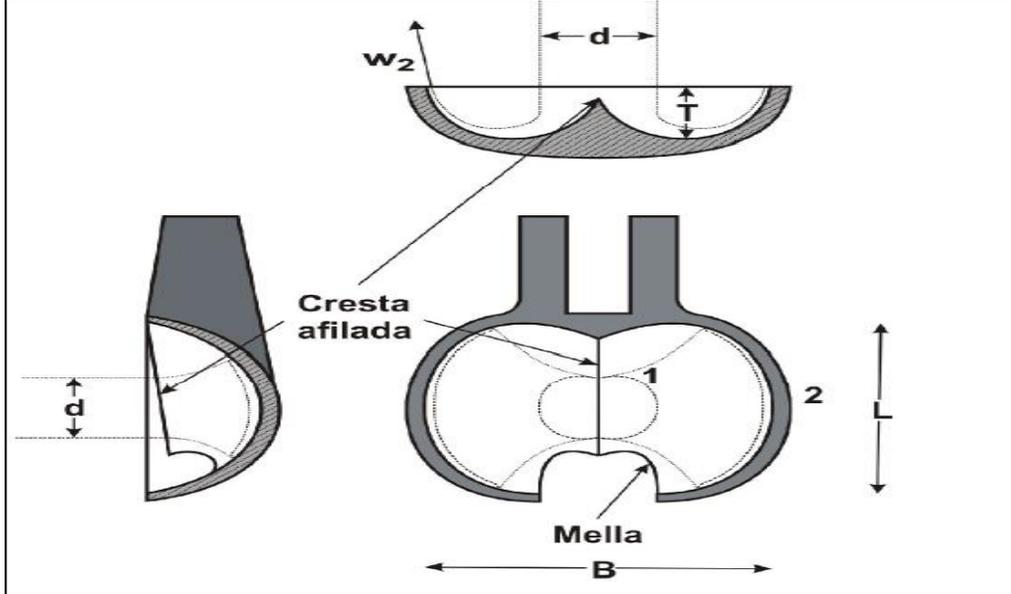
Figura 3. Esquema del rodete de una turbina Pelton.



Fuente (Ferrada, 2012)

La mella, con una anchura ligeramente superior al diámetro del chorro, tiene como función evitar el rechazo. El máximo aprovechamiento energético del fluido se obtiene cuando el chorro incide perpendicularmente sobre la cuchara. Pero, al girar el rodete, cuando se aparta una cuchara y llega la siguiente, ésta tapa a la anterior antes de estar en condiciones de aprovechar su energía adecuadamente. La mella evita que una cuchara tape a la anterior demasiado pronto.

Figura 4: Vista frontal y sección lateral (izquierda) y sección inferior de una cuchara.



Fuente (Ferrada, 2012)

Cálculo de la turbina Pelton.

Comenzaremos calculando la potencia aproximada de diseño, P_e^* :

$$P_e^* = \rho * Q * H * \eta$$

Dónde:

Potencia normal: P_e^*

Gravedad: ρ

Altura neta: H

Caudal normal o de diseño: Q

Rendimiento o eficiencia de la turbina: η

1. tanteamos esa solución sabiendo que para ello tenemos una velocidad específica

Tabla 2: Velocidades específicas N_s , según tipo de turbina

Velocidad específica N_s	Tipo de turbina
De 5 a 30	Pelton con un inyector
De 30 a 50	Pelton con varios inyectores
De 50 a 100	Francis normal
De 100 a 200	Francis rápida
De 200 a 500	Francis doble gemela rápida o express
Ma de 500	Kaplan o hélice

Fuente: (Ferrada, 2012)

Velocidades específicas N_s ,

$$n_s = \frac{n * P_e^{*1/2}}{H^{5/4}}$$

Velocidad Angular n : rpm

Potencia normal P_e^* : CV

Altura salto : m

2. Calculamos la velocidad absoluta (c_1), conociendo la altura del salto (H) y en factor de velocidad (C_1), para el que tomaremos

$$c_1 = C_1 * \sqrt{2gH}$$

La velocidad tangencial (u) viene determinada por el acuerdo adoptado para diseño de $u=0.46 C_1$

$$u = 0,46 * c_1$$

El diámetro del chorro (d):

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}}$$

Para las dimensiones de la cuchara y de su paso:

$$L \approx 2,1 * d$$

$$B \approx 2,5 * d$$

$$T \approx 0,85 * d$$

$$t \approx 2 * d$$

Dónde:

Longitud cuchara (L)

Anchura cuchara (B)

Profundidad cuchara (T)

Mella en cuchara (m)

Paso de cuchara (t)

Calculamos el diámetro del rodete (D):

Para conocer el diámetro del rodete (D), conocido la velocidad angular n (rpm) y la velocidad tangencial (u), cálculo el diámetro:

$$D = \frac{60 * u}{\pi * n} :$$

3. Número de cucharas z según diámetro del rodete y paso t:

Por último, conociendo el diámetro del rodete (D) y el paso de las cucharas (t) puede calcular el número de ellas (z)

$$z = \frac{\pi * D}{t} :$$

El paso de cuchara definitivo ($t_{definitivo}$) se halla reemplazando en la ecuación anterior con el número de cucharas

4. Si comprobamos la relación entre el diámetro del rodete y el del chorro (D/d), veremos que está muy cercano al valor teórico D/d, que nos da una

velocidad específica, es decir el rendimiento máximo para este tipo de turbina (Pelton)

Si la relación D/d es grande, saldrán muchas cucharas y pequeñas (n_s bajo), en cambio si la relación D/d es pequeña, tendremos pocas cucharas y grandes (n_s alto). (Ferrada, L. 2012)

Tubería de conducción

Dentro de un sistema de abastecimiento de agua, se le llama línea de conducción, al conjunto integrado por tuberías, y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión desde la fuente de abastecimiento, hasta el sitio donde será distribuida.

Flujo uniforme en tuberías

En flujo uniforme, las características del flujo (presión y velocidad media) permanecen constantes en el espacio y en el tiempo. Por consiguiente, es el tipo de flujo más fácil de analizar y sus ecuaciones se utilizan para el diseño de sistemas de tuberías. Como la velocidad no está cambiando, el fluido no está siendo acelerado. De acuerdo con la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F_x = \Sigma Q = 0$$

Tuberías está siempre acompañado de pérdidas de presión debidas a la fricción del agua con las paredes de la tubería; por lo que requiere un análisis especial y detallado. En la Figura 1, se representa un flujo permanente y uniforme en una sección transversal constante, con lo que las velocidades medias en las secciones 1 y 2, (v_1 y v_2), son iguales. Por otro lado, se considera que a lo largo de este movimiento líquido no existen transiciones locales, de manera que las pérdidas menores serán nulas. Teniendo en cuenta estas dos consideraciones, el teorema de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, se puede establecer como sigue:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

Donde

Zi = Carga de posición (m), también considerada carga hidrostática.

Pi = Presión estática a la que está sometido el fluido, kg/m2.

Y = Peso específico del fluido, kg/m3.

Vi = Velocidad, m/s.

g = Aceleración gravitatoria 9,81 m/s2.

Son las pérdidas de energía que existen en el recorrido, más las pérdidas locales de energía $\sum h_f$: provocadas por dispositivos como válvulas, codos, reducciones, etc., en m. (Martínez, M. 2011)

Pérdidas de carga en tuberías

La pérdida de carga en una tubería o canal es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce además se genera pérdidas de carga con la presencia de accesorios tales como válvulas, codos, etc.

Ecuación de Darcy-Weisbach

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

Para pérdidas de carga por fricción de la tubería se tiene que:

$$h_c = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L$$

Donde la constante f se calcula de los siguientes modos:

$$\text{Von Karman: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \quad \text{Colebrook: } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Y para pérdidas locales o por accesorios se tiene:

$$h_s = K \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

La constante K varía de acuerdo al accesorio:

Válvula de compuerta totalmente abierta: $K = 0,2$

Válvula de compuerta mitad abierta: $K = 5,6$

Curva de 90° : $K = 1,0$

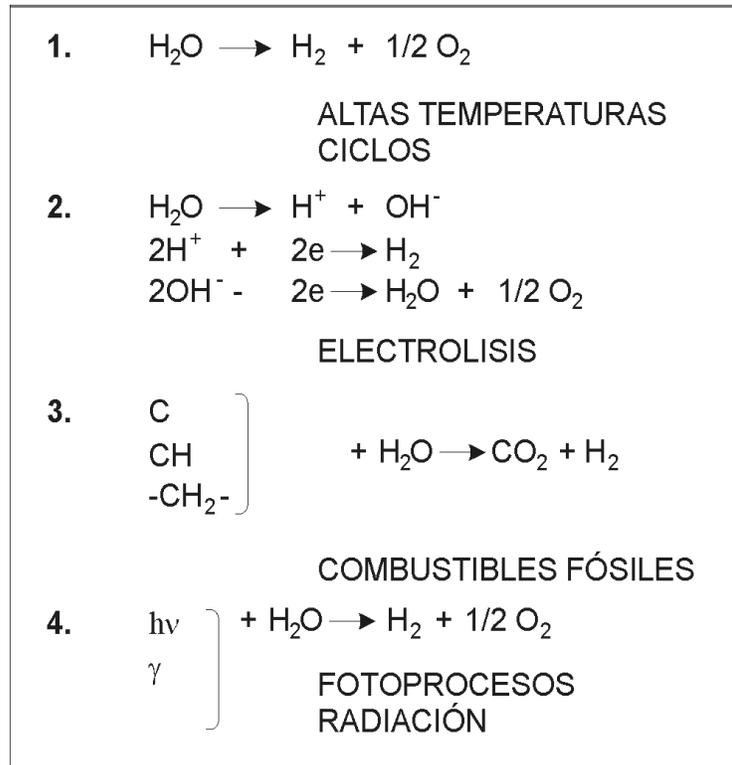
Curva de 45° : $K = 0,4$

Producción de Hidrógeno.

Debemos preguntarnos primero cuáles son las materias primas para la producción de hidrógeno. Evidentemente, el primero es el mar, en el que el hidrógeno está en un 11,19% en peso. Todos los organismos vivos, animales y vegetales, contienen hidrógeno. Puede obtenerse por ello de la biomasa y de algunos productos de origen animal como el biogás. Y lo contienen los combustibles fósiles, gas natural, petróleo y carbón.

No obstante, ha de quedar claro que la molécula de agua es extraordinariamente estable y que en todos los casos es preciso aportar energía para obtener el hidrógeno. Otra cuestión que, a veces se olvida, es que en nuestro mundo el hidrógeno no es una energía primaria y es preciso obtenerlo mediante alguna reacción química, bien de disociación del agua o por alguna reacción en que el hidrógeno es un producto de la reacción (véase figura n°2).

Figura5: Producción de hidrógeno



Fuente (Gutiérrez, 2005)

En los últimos años el hidrógeno producido se dedica a la fabricación de amoníaco, 50%, y en las refinerías de petróleo, 37%. La obtención de metanol, 8%, otros productos químicos, 4%, y diversas aplicaciones, 1%, completan una producción que en el mundo se eleva a unos 60 millones de toneladas anuales.

Los métodos industriales de producción de hidrógeno se basan principalmente en los combustibles fósiles. Según los países y su disponibilidad de materias primas se emplea el gas natural, el carbón o los derivados del petróleo y solamente en algunos la electrolisis del agua (véase figura n°2). A escala mundial, el 48% de la producción utiliza el reformado catalítico de gas natural con vapor. Le siguen el 30% a partir de hidrocarburos, el 18% del carbón gasificado y el 4% por electrolisis.

La necesidad de reducir las emisiones de CO para evitar el efecto invernadero que provoca y las consecuencias previsibles del calentamiento de la Tierra y

del posible cambio climático hace que actualmente se estudie profundamente la obtención de hidrógeno a partir de agua por métodos térmicos. La alta temperatura necesaria para alcanzar un rendimiento apreciable indica que es necesario acudir a la utilización de catalizadores y mejor aún al empleo de ciclos a fin de reducir la temperatura máxima de trabajo y así requerir materiales que puedan funcionar en condiciones prácticas de resistencia mecánica y química adecuadas. (Gutiérrez, L. 2005)

Figura 6: Ciclos de disociación térmica para la obtención de hidrógeno

<p>• Procesos General Atomic</p> <p>a) 1. $2 \text{HI} \rightarrow \text{I}_2 + \text{H}_2$ (425° C) 2. $\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HI}$ (90° C) 3. $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$ (860° C)</p> <p>b) 1. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} + 2 \text{SO}_2 \rightarrow 2 \text{FeSO}_4 + \text{H}_2$ (80° C) 2. $2 \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2 \text{SO}_2 + 1/2 \text{O}_2$ (800° C)</p>	<p>• Procesos Hitachi</p> <p>1. $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Cu} \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{H}_2$ 2. $2 \text{CuSO}_4 \rightarrow 2 \text{CuO} + 2 \text{SO}_3$ (760° C) 3. $2 \text{CuO} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$ (750° C) 4. $\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O} + \text{CuSO}_4$ 5. $2 \text{SO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$</p>
<p>• Departamento de Energía, Estados Unidos</p> <p>a) 1. $2 \text{KI} + 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 + 2 \text{NH}_4\text{I}$ 2. $\text{Hg} + 2 \text{NH}_4\text{I} \rightarrow \text{HgI}_2 + 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2$ 3. $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{HgI}_2 \rightarrow \text{Hg} + 2 \text{KI} + \text{CO}_2 + 1/2 \text{O}_2$</p> <p>b) 1. $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 2 \text{SrO} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{SrCrO}_4 + 3 \text{H}_2$ 2. $2 \text{SrCrO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + 2 \text{SrO} + 3/2 \text{O}_2$</p>	<p>• Procesos Westinghouse</p> <p>1. $2 \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 2. $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 1/2 \text{O}_2$</p>

Fuente (Gutiérrez, 2005)

Tipos De Producción De Hidrógeno

Producción de Hidrógeno a Partir de Biogás en Celdas de Hidrógeno.

Celdas de hidrógeno con una capacidad de hasta 10 kW se ensayan en plantas pequeñas de generación de energía eléctrica. Esta es una fuente motriz alternativa, viable y competitiva. El combustible biogás consiste principalmente de metano y dióxido de carbono y otros compuestos, además de una variedad de impurezas que sin embargo, son dañinas para las celdas. Existe una correlación entre la formulación del sustrato en el biodigestor con la

cantidad de gases perjudiciales en el biogás. La concentración del biogás tiene variaciones hasta del 15% con respecto al tiempo.

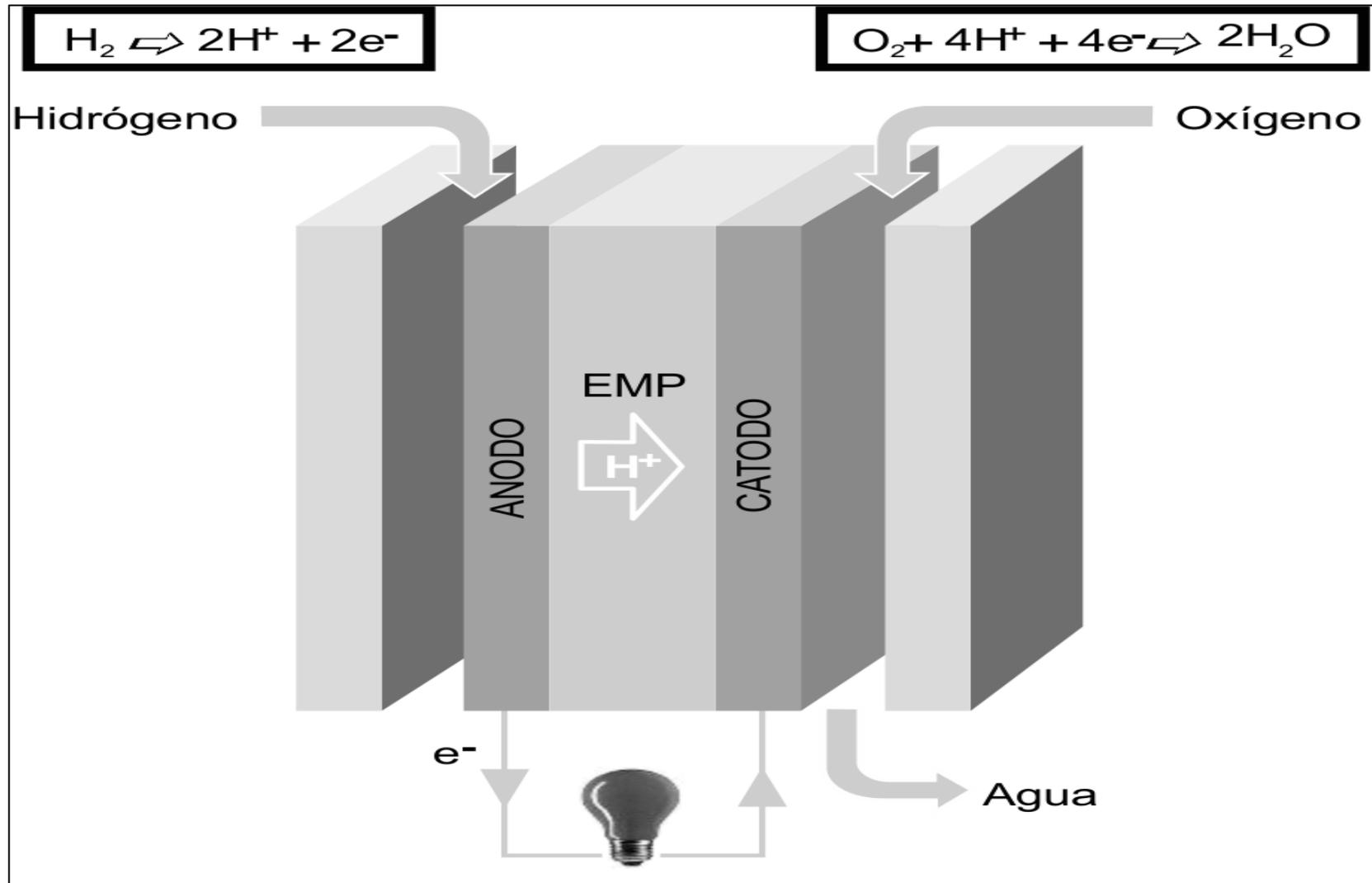
La sensibilidad de las celdas a ciertos compuestos nocivos obliga a someter el biogás a un riguroso proceso de limpieza/acondicionamiento y finalmente a un reformado para lograr un combustible rico en hidrógeno. Para el reformado del biogás hasta lograr una calidad aceptable para utilizarse en las celdas de baja temperatura se requieren tratamientos de limpieza más agresivos y mayor equipamiento cuando se dispone de un biogás con bajo contenido de metano y un alto contenido de CO

Una solución integral sería, primeramente, sembrar cultivos para producir alimentos tanto para animales como para el hombre y que en los procesos de cosecha es posible utilizar los residuos vegetales para generar una cantidad adicional de bioenergía, así como con el uso de los desechos de las actividades pecuarias y los restos de una sobreproducción, que regularmente se presentan por la variación natural de la productividad agrícola. La digestión de la masa vegetal, de los residuos pecuarios y residuos orgánicos produce biogás y un fertilizante orgánico. La utilización de materiales considerados de desecho para la producción de biogás en proyectos de generación de energía en las comunidades de zonas aisladas y/o marginadas, alejadas de los centros de suministro de energía tradicionales, con lo que se cumple la condición básica de que se produce un bioenergético que no compite con la producción de alimentos y donde las fuentes de energía comunes o son escasas o no se encuentran disponibles (Rössel, 2013)

El biogás es utilizado en los motores de las plantas generadoras de energía eléctrica de tamaño mediana y grande, mientras que en las pequeñas se ensaya el biogás en celdas o pilas de hidrógeno (CH) de baja temperatura para generar energía hasta una capacidad de 10 kW (Figura n°4). Las celdas CH requieren para su funcionamiento de gases muy limpios y entre mayor sea el contenido de hidrógeno se incrementa su eficiencia, sin embargo, el biogás resultante de la digestión contiene diferentes compuestos además de

impurezas que son dañinas para los componentes de las celdas CH, por lo que es indispensable establecer procedimientos de limpieza confiables para el biogás (Rössel, 2013).

Figura 7: Esquema del funcionamiento de una celda de hidrógeno de baja temperatura

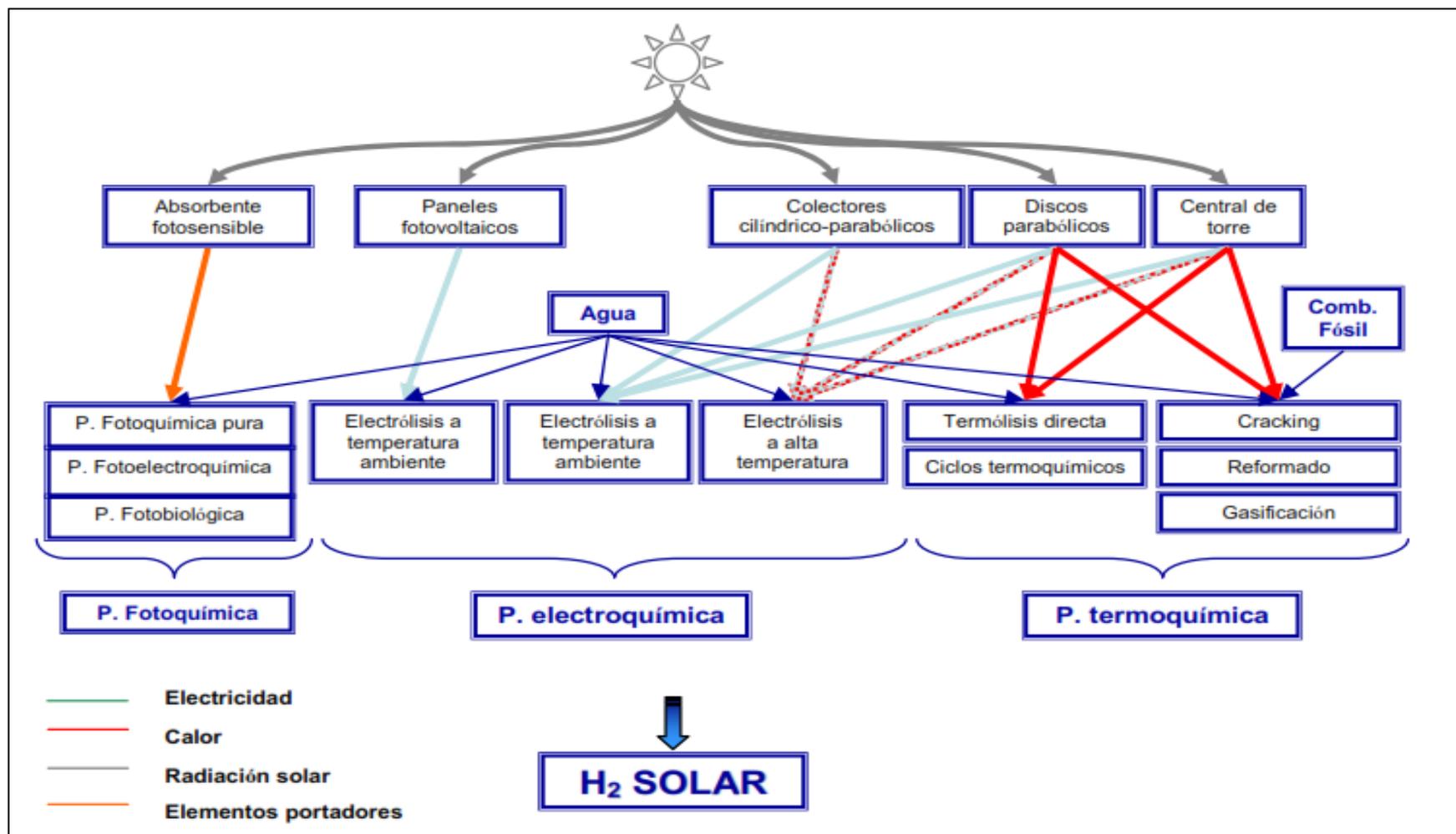


Fuente (Rössel, 2013)

Producción de hidrógeno a partir de energía solar.

Con relación a las tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar, se han desarrollado diversos métodos para producir hidrógeno, tal y como lo resume Montes en la figura nº5. En esta, se pueden observar que las tres vías para su producción son fotoquímica, electroquímica y termoquímica. De estos tres procesos, los que han tenido un mayor desarrollo técnico-económico, son los electroquímicos y los termoquímicos. (Montes J., Abánades A., Martínez J, 2008).

Figura 8: métodos de producción de hidrógeno solar

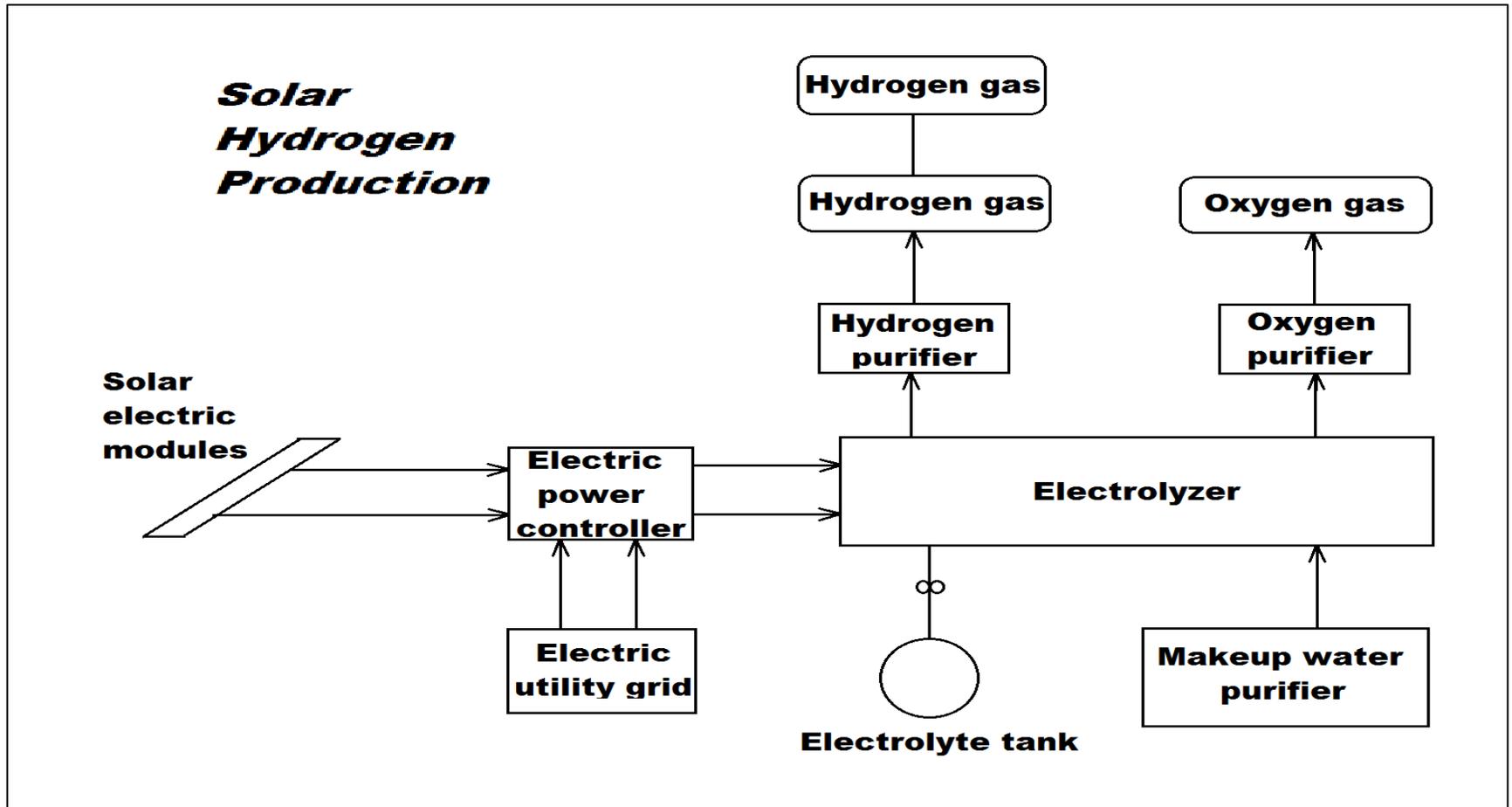


Fuente (Montes et al, 2008)

Los procesos electroquímicos consisten en emplear la energía eléctrica proveniente de un módulo fotovoltaico (figura 7)

Para alimentar un electrolizador, con el objetivo de fomentar una reacción no espontánea y de esta forma obtener el hidrógeno por electrólisis del agua. También es posible emplear la energía eléctrica generada por un sistema de concentración solar para llevar a cabo electrólisis de alta temperatura, cuya ventaja es un menor requerimiento de energía eléctrica. La electrólisis, es el proceso principal de estos sistemas y consiste en la reacción electroquímica que separa la molécula del agua en hidrógeno y oxígeno, mediante la aplicación de un voltaje o corriente eléctrica generalmente de tipo continua que promueve las reacciones de óxido-reducción (Aguilar & Scholtz, 2005).

Figura 9: Producción de hidrógeno por electrolisis a partir de radiación solar



Fuente (Pyle, Healy & Cortez. 1994)

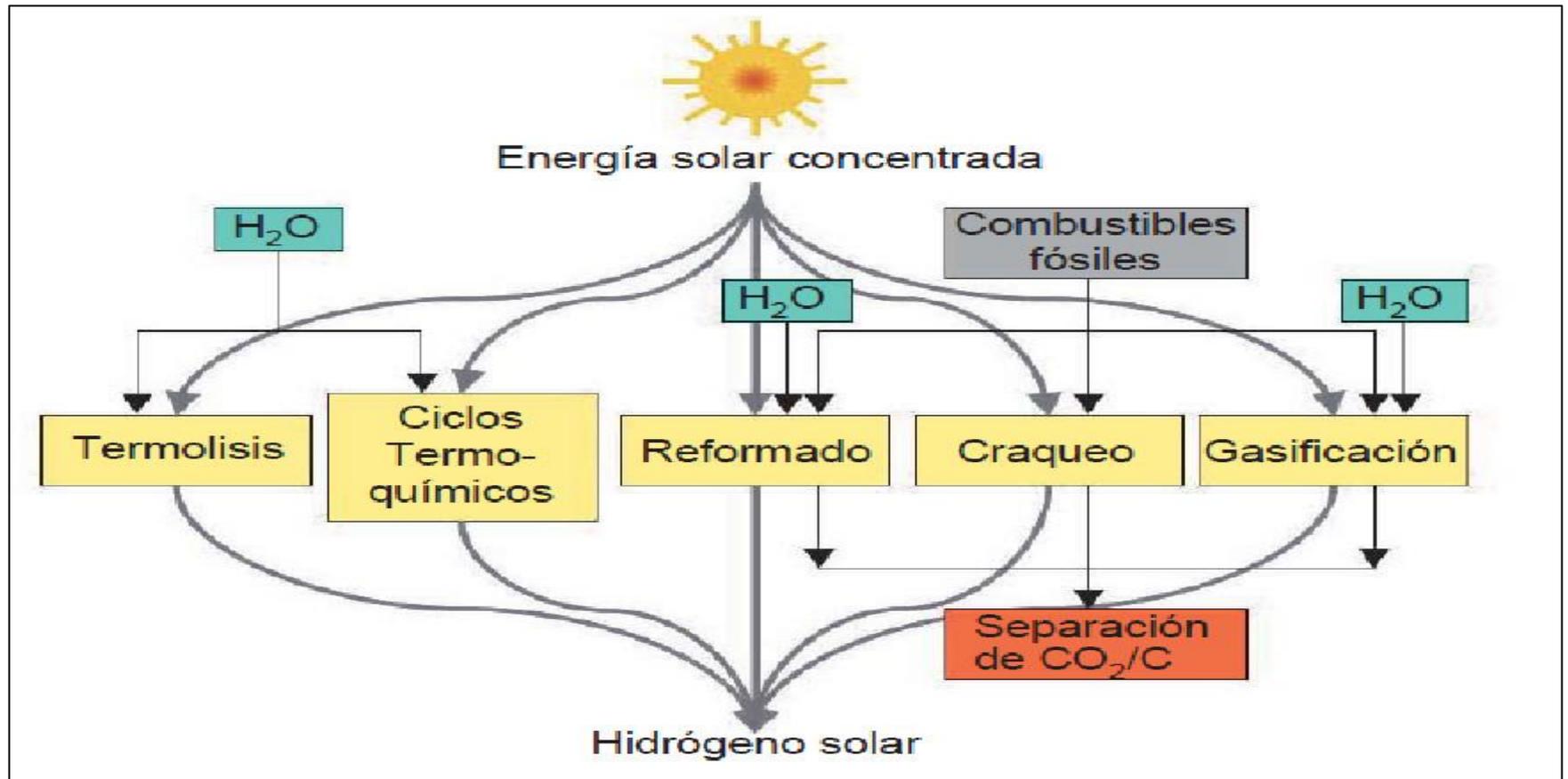
El costo de la producción de hidrógeno mediante electrólisis a partir de energía solar fotovoltaica, es elevado, dado que la relación entre el volumen de hidrógeno generado, por superficie de sistemas fotovoltaicos de escala comercial, es baja. Por esta razón se continúa investigando en encontrar materiales para los electrodos que permitan aumentar el rendimiento de la electrólisis (realizándola a mayores temperaturas) como forma de disminuir los costos de producción y que en consecuencia, el proceso sea más competitivo y atractivo en el mercado.

Ahora bien, los procesos termoquímicos (figura n° 5) son aquellos que usan la energía solar como fuente de calor para producir reacciones químicas endotérmicas, tales como:

Termólisis directa del agua: busca la disociación de la molécula de agua, utilizando energía solar, requiere temperaturas demasiado elevadas de alrededor de 2500 °C y la necesidad de poseer una técnica efectiva de separación del hidrógeno y el oxígeno formados, para evitar su mezcla explosiva, en consecuencia, no existen proyectos a escala de planta piloto (Fernández, 2007)

Ciclos termoquímicos: descomposición del agua para obtener hidrógeno y oxígeno, mediante una serie de reacciones químicas endotérmicas y exotérmicas que constituyen ciclos compuestos de varias etapas. La mayor ventaja de este método es que el hidrógeno y el oxígeno se obtienen por separado (en etapas distintas) y no requiere temperaturas tan altas como en el caso de la termólisis directa. Sin embargo, la existencia de varias etapas en estos ciclos, reduce el rendimiento total del proceso debido a la irreversibilidad asociada a cada una de las mismas (Perkins & Weimer, 2004)

Figura 10: Procesos termoquímicos para la producción de hidrógeno solar



Fuente (Steinfeld, 2005)

Estos procesos termoquímicos utilizan la radiación solar concentrada como fuente calorífica de alta temperatura para llevar a cabo reacciones endotérmicas.

Para conseguir razones de concentración elevadas, se hace uso de dos de las tres configuraciones ópticas ya mencionadas: discos parabólicos y sistemas de torre, ya que con los colectores cilindro parabólicos no es posible alcanzar la temperatura requerida (Montes et al, 2008)

En la actualidad, se están adelantando diversas investigaciones con el fin de establecer ciclos termoquímicos que empleen menos etapas y, en consecuencia, sean más eficientes para ser implementados a gran escala porque los ciclos pueden consistir incluso de ocho reacciones que involucran hasta cinco elementos diferentes al hidrógeno y el oxígeno (Funk, 1994). Los ciclos que emplean catalizadores basados en óxidos y en óxidos mixtos de diferentes metales de transición, al tener menor número de etapas, requerir temperaturas menos elevadas, una mayor eficiencia global del ciclo y permitir la recuperación del catalizador de forma más sencilla; han sido los que mayor proyección han logrado, al punto que algunos de ellos han sido probados a escala de planta piloto, dentro de los que se destacan los óxidos de Zinc, de hierro, de manganeso y algunas ferritas. Dentro del amplio grupo de compuestos probados, los compuestos que más se han consolidado de acuerdo con diferentes publicaciones son el óxido de Cerio y la Ferrita de Níquel (Abanades et al, 2006)

Una vez sean establecidos los compuestos y ciclos más favorables en términos de eficiencia y rentabilidad económica, existen diversos proyectos de energía solar de concentración, tanto en Europa como en Estados Unidos, especialmente en el estado de California, que brindan la oportunidad de integrar la producción de hidrógeno rápidamente al proceso como una alternativa equiparable y posiblemente más eficiente que el almacenamiento

en sales fundidas, que se emplea actualmente, para gestionar la energía generada (European comisión, 2007)

El hidrógeno que es producido a partir de energía solar, debe ser captado y almacenado de manera tal que pueda ser empleado posteriormente en diferentes tipos de aplicaciones, principalmente móviles, es por eso que también se están adelantando numerosas investigaciones para establecer el método de almacenamiento más efectivo. Actualmente la tecnología más prometedora es el almacenamiento del hidrógeno en forma de hidruros metálicos que posteriormente puedan alimentar pilas de combustible, puesto que el almacenamiento en forma gaseosa, representa riesgos de seguridad y mayores requerimientos de volumen de gas, en comparación con sistemas que operan con gas natural. De igual forma se han desarrollado diferentes tecnologías para pilas de combustible tales como las membranas de intercambio protónico (PEM), para aplicaciones móviles de baja potencia y temperaturas de operación inferiores a 150 °C (Abdel & Shenawy, 2014)

Producción de H₂ con hidroelectricidad.

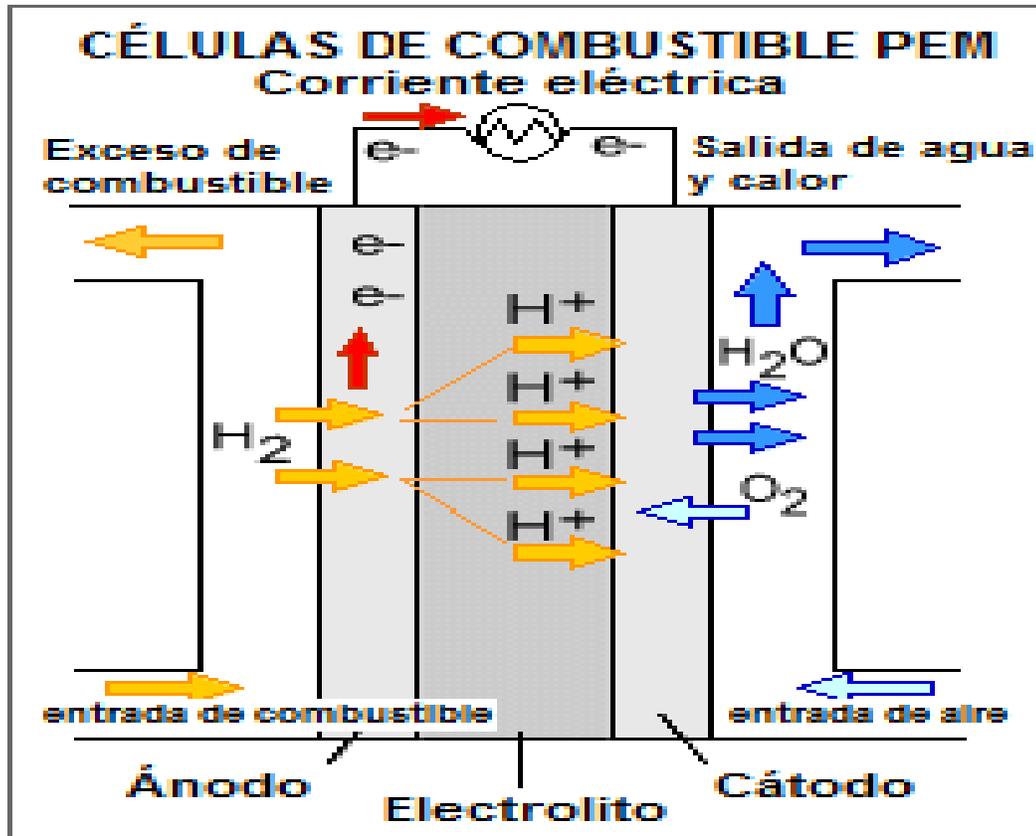
Otra de las formas de obtención de hidrógeno es mediante la hidroelectricidad o hidroenergía; que esta se basa en la cinemática del agua con un diseño adecuado hace mover una turbina y está a su vez moverá a un generador eléctrico para posteriormente alimentar a cierto sistema para la generación de hidrógeno como combustible alterno.

Celdas de combustible de membrana de intercambio de protones.

son un tipo de celda que contiene una membrana, la cual es fabricada generalmente en un polímero conductor de protones, la membrana conduce los protones hacia el cátodo debido a la composición química de esta, pero los electrones se ven forzados a tomar otro camino, debido a que la membrana es construida en materiales aislantes, este otro camino puede ser el abastecimiento de energía, después de esto, los electrones que han viajado por el circuito externo y los protones empiezan a reaccionar con el oxígeno

generando agua en forma de líquido o vapor, que son los residuos que genera este proceso químico (Velásquez, 2013).

Figura 11. Celda de combustible de membrana de intercambio de protones

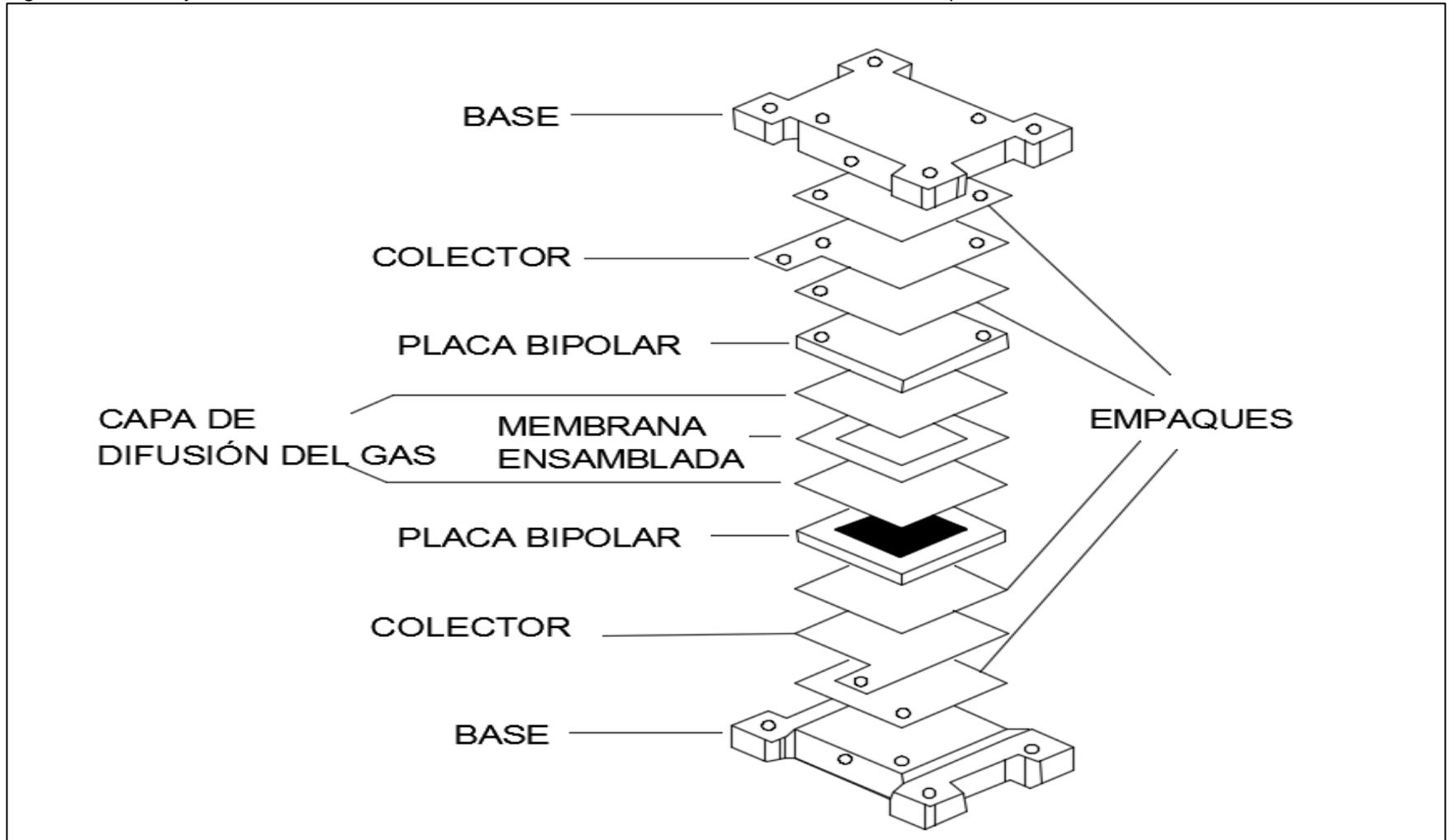


Fuente (Torres, 2011)

El diseño y construcción de una celda de combustible se muestra en la Figura 9. Se muestran los detalles de cada parte de la celda.

La función principal es mostrar la estructura básica de ensamble de una celda de combustible. Basado para ser acomodado en el intercambiador de calor, responsable de mantener a la celda de combustible en una operación propia de temperatura (entre 30 y 100°C).

Figura 12. Diseño y construcción de una celda de combustible de membrana intercambiadora de protones.



Fuente (Luna, 2011)

Las bases son construidas de aluminio 6061. Este tipo de aluminio se caracteriza por sus buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión para el maquinado.

Los platos colectores son los responsables de conducir los electrones generados en la celda de combustible hacia el almacenamiento de carga. Los platos son construidos de cobre. Estos están cubiertos por una capa de oro y níquel con el afán de incrementar la conductividad eléctrica. (Luna, 2011)

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Agua: Del latín aqua, el agua es una sustancia cuyas moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno. Se trata de un líquido inodoro (sin olor), insípido (sin sabor) e incoloro (sin color), aunque también puede hallarse en estado sólido (cuando se conoce como hielo) o en estado gaseoso (Pérez & Gardey, 2013)

Hidrógeno: elemento químico de número atómico 1. Se trata del más ligero de los elementos con una masa atómica de 1,00794 (7) u y del más abundante del universo y de la corteza terrestre (constituye el 83,9% de la materia visible). En la atmósfera, el hidrógeno se halla como gas incoloro, inodoro e inflamable, en su forma molecular H₂.

El protio y el deuterio son los isotopos naturales del hidrógeno. El más común en la naturaleza es el protio, que dispone de un único protón y no tiene ningún neutrón. El tritio, por otra parte, es un isotopo artificial de hidrógeno. (Pérez & Merino, 2014)

Oxígeno: es el elemento químico de número atómico 8 que constituye cerca de la quinta parte del aire atmosférico terrestre en su forma molecular O₂. En esta forma molecular que está compuesta por dos átomos de este elemento, el oxígeno es un gas. (Pérez & Merino 2009)

Electrólisis: es un proceso mediante el cual se logra la disociación de una sustancia llamada electrolito, en sus iones constituyentes (aniones y cationes), gracias a la administración de corriente eléctrica. (Arroyo, 2011)

Corriente continua: Es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial, en ella las cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección (es decir, los terminales de mayor y de menor potencial son siempre los mismos). Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo, la suministrada por una batería), es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad. (Fajardo, 2010)

Hidroenergía: Es básicamente una forma de la energía generada por la fuerza del movimiento del agua, que una máquina primaria la transforma inicialmente en energía mecánica y luego una máquina secundaria la transforma en energía eléctrica. (Torres, 2011)

Turbina o rueda hidráulica: Las ruedas hidráulicas son máquinas capaces de transformar la energía del agua, cinética o potencial, en energía mecánica de rotación. En ellas, la energía potencial del agua se transforma en energía mecánica o bien, su energía cinética se transforma en energía mecánica (Fernández, 2004).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

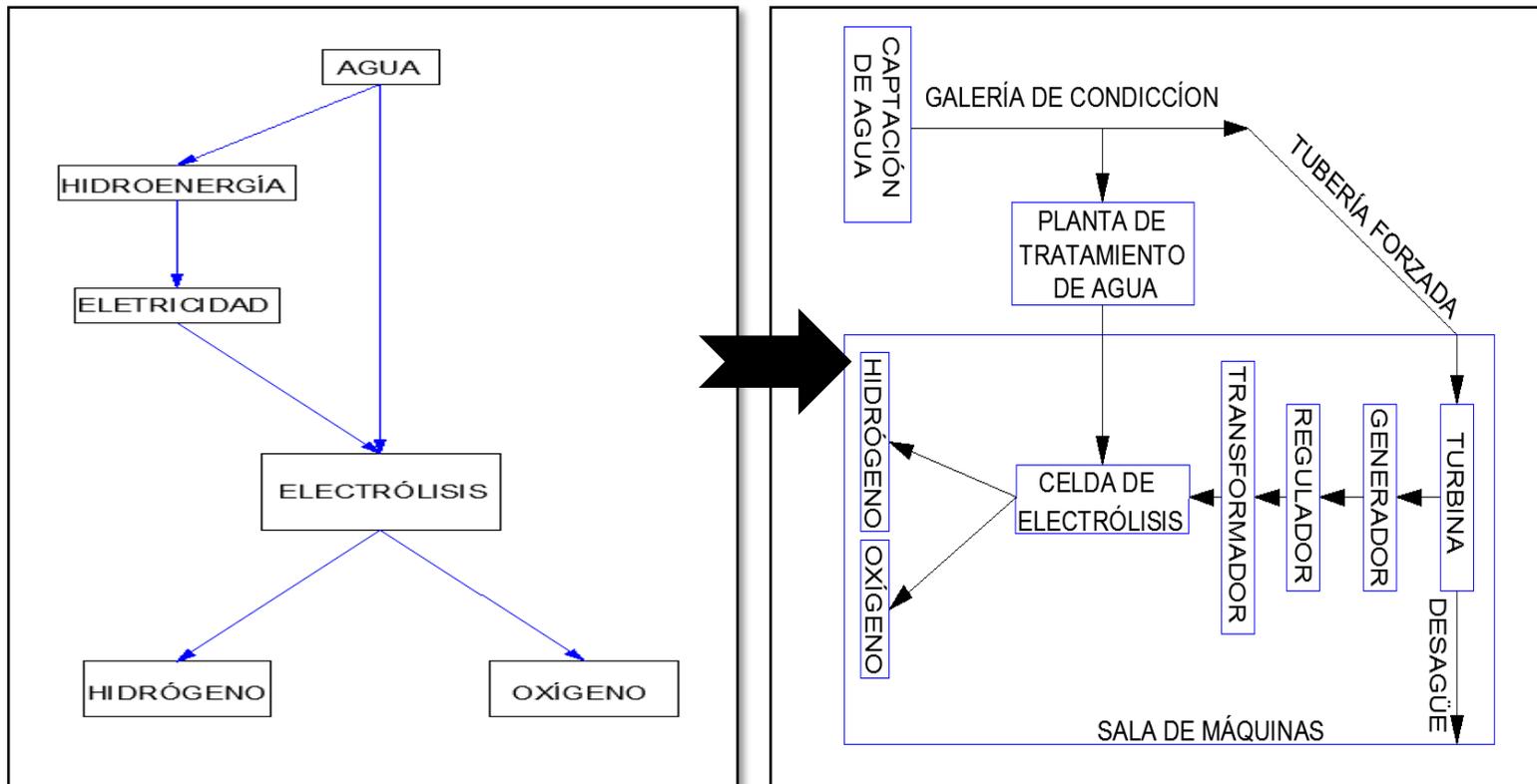
3.1. DATOS DE ENTRADA

3.1.1 DISEÑO

El diseño propuesto en esta investigación para la producción de hidrógeno es mediante una celda de hidrógeno de intercambio de protones y ésta es alimentada con corriente continua (electrolisis) que es obtenido de un generador eléctrico y este generador es activado mediante una turbina Pelton que es movida con la fuerza del agua (hidroenergía).

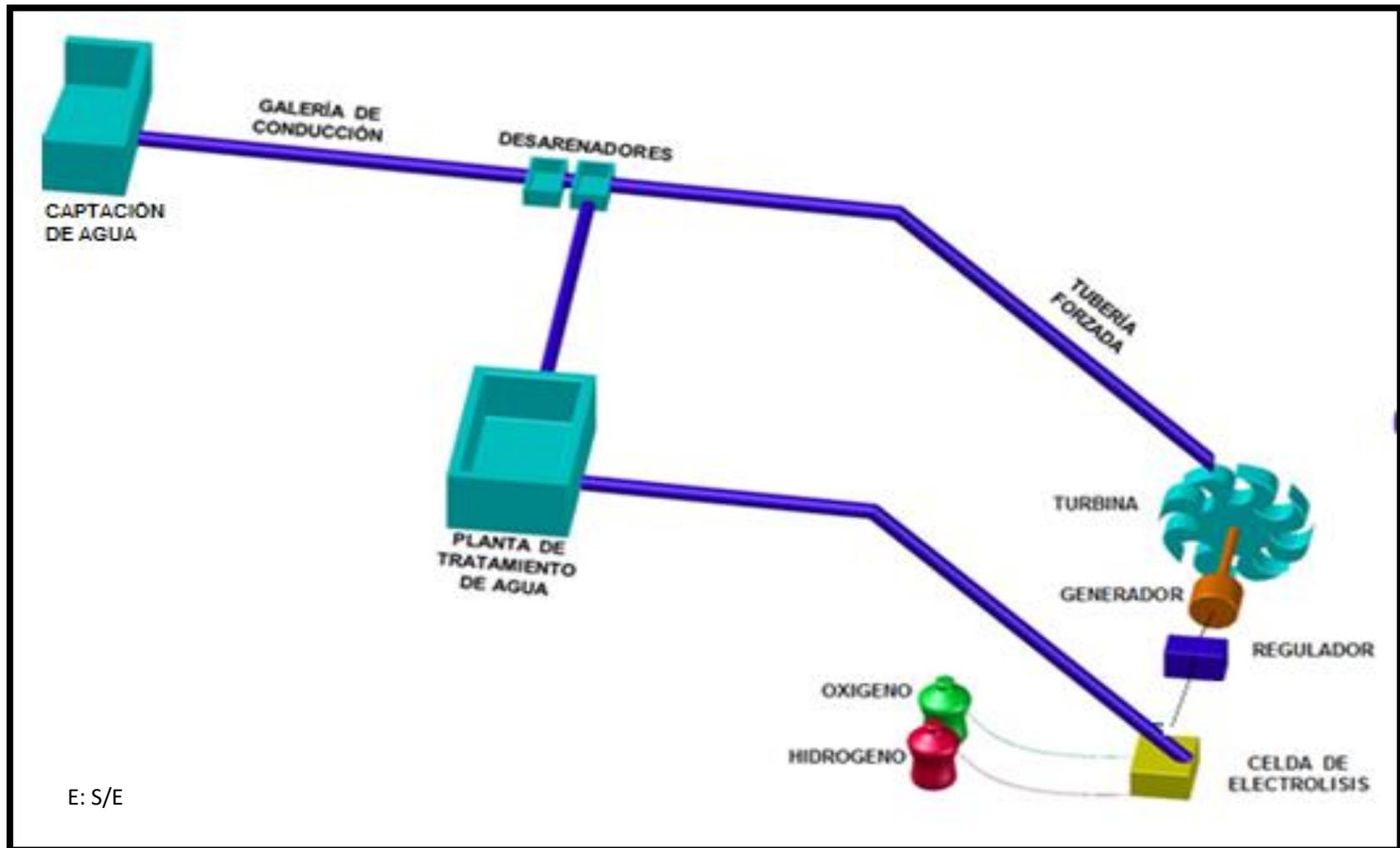
A continuación, presentamos un esquema de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.

Figura 13: Esquema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía



Fuente (Elaboración propia, 2017)

Figura 14: Gráfico de obtención de hidrógeno mediante hidroenergía



Fuente (elaboración propia, 2017)

La energía necesaria para extraer el hidrógeno de un litro de agua se obtiene a partir de la energía de formación del agua líquida a partir del hidrógeno y oxígeno moleculares que es de 285.84 kJ/mol. 18 gramos de agua forman un mol; luego en un litro hay $1000/18 = 55.56$ moles de agua. Por tanto la energía necesaria para disociar un litro de agua (por electrólisis por ejemplo) en sus componentes Oxígeno e Hidrógeno es:

$$E = 55.55 \times 285.84 \text{ kJ} = 15878.24 \text{ kJ}$$

Esta cantidad expresada en kW.h resulta ser: (1 kW.h = 3600 kJ)

$$E = 4.41 \text{ kW.h}$$

Si aplicáramos una potencia de 4.41 kW al proceso de electrólisis durante una hora, disociaríamos completamente un litro de agua.

Tras la disociación, $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{ O}_2$, se obtienen dos moles de hidrógeno y un mol de oxígeno por cada dos moles de agua, por tanto de un litro de agua se obtienen:

$$27.78 \text{ moles O}_2 = 27.78 \times 32 = 888.9 \text{ g O}_2$$

$$55,56 \text{ moles H}_2 = 111.1 \text{ g H}_2$$

Esto es, habremos obtenido 0,1111 kg de hidrógeno. (Malfasi, 2010)

Entonces de acuerdo a esto podemos calcular la masa del hidrógeno en función del volumen de agua empleada y también podemos calcular la potencia necesaria para descomponer cierta cantidad de agua.

Sabemos que:

De 1 litro de agua se obtiene 111.11g de hidrógeno entonces:

Para calcular la cantidad de agua necesaria en una cantidad conocida de hidrógeno se multiplicara la cantidad de hidrógeno por $1/111.11$ (0.009) así:

Por ejemplo:

¿Para 10000g de hidrógeno obteniendo por electrolisis cuánta agua necesitaremos?

$$Vol_{H_2O} = 0.009 \times 10000 = 90l$$

Entonces la función correspondiente será:

$$Vol_{H_2O} = 0.009 \times H_2$$

Dónde:

Vol_{H_2O} = volumen de agua necesaria para la obtención de hidrógeno (en litros)

H_2 = Hidrógeno obtenido con cierta cantidad de agua (en gramos)

De la similar forma podríamos saber cuánto hidrógeno se puede obtener de una cantidad conocida de agua solo con multiplicar al volumen de agua (en litros) por 111.11 así:

¿Qué cantidad de hidrógeno se obtendrá por electrolisis de 90L de agua?

$$H_2 = 111.11 \times 90 = 10000g$$

Entonces la función correspondiente será:

$$H_2 = 111.11 \times Vol_{H_2O}$$

Dónde:

H_2 = cantidad de hidrógeno en gramos obtenido de un volumen conocido de agua

Vol_{H_2O} = volumen de agua conocida (en litros)

Ahora haremos un proceso similar para la relación potencia – cantidad de hidrógeno:

Para obtener 111.11g de hidrógeno por electrolisis de agua es necesario energía $E = 4.41$ kW.h.

Entonces la constante a multiplicar será: $\frac{4.41}{111.11} = 0.0397$

$$E = 0.0397 \times H_2$$

De forma similar para la obtención de hidrógeno

Constante a multiplicar será: $\frac{111.11}{4.41} = 25.195$

$$H_2 = 25.195E$$

Dónde:

E: energía (kW.h) y H₂: Hidrógeno (gramos)

Considerando esta información podemos elaborar las siguientes fichas de observación:

Tabla 3: Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua.

FICHA DE OBSERVACIÓN DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE VOLUMEN DE AGUA.			
Vol. Agua	Vol. Agua	Hidrógeno	Hidrógeno
(L)	(m3)	g	(Kg)
1	0.001	111.111	0.111
5	0.005	555.556	0.556
10	0.010	1111.111	1.111
50	0.050	5555.556	5.556
100	0.100	11111.111	11.111
500	0.500	55555.556	55.556
1000	1.000	111111.111	111.111
5000	5.000	555555.556	555.556
10000	10.000	1111111.111	1111.111
50000	50.000	5555555.556	5555.556
100000	100.000	11111111.111	11111.111
500000	500.000	55555555.556	55555.556
1000000	1000.000	111111111.111	111111.111
0	0	1	1

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Tabla 4: Ficha de observación de valores de hidrógeno mediante energía.

FICHA DE OBSERVACIÓN DE VALORES DE HIDRÓGENO MEDIANTE ENERGÍA		
Energía	Hidrógeno	Hidrógeno
kW/h	g	(kg)
1	111.111	0.111
5	555.556	0.556
10	1111.111	1.111
50	5555.556	5.556
100	11111.111	11.111
500	55555.556	55.556
1000	111111.111	111.111
5000	555555.556	555.556
10000	1111111.111	1111.111
50000	5555555.556	5555.556
100000	11111111.111	11111.111
500000	55555555.556	55555.556
1000000	111111111.111	111111.111

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Tabla 5: Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros.

FICHA DE OBSERVACIÓN DE ENERGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON CIERTO VOLUMEN DE AGUA EN LITROS													
POTENCIA / TIEMPO	1 kW	5 kW	10 kW	50 kW	100 kW	500 kW	1000 kW	5000 kW	10000 kW	50000 kW	100000 kW	500000 kW	1000000 kW
1 h	0.228	1.139	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433
2 h	0.456	2.278	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866
3 h	0.683	3.417	6.834	34.169	68.337	341.686	683.371	3416.856	6833.713	34168.565	68337.130	341685.649	683371.298
4 h	0.911	4.556	9.112	45.558	91.116	455.581	911.162	4555.809	9111.617	45558.087	91116.173	455580.866	911161.731
5 h	1.139	5.695	11.390	56.948	113.895	569.476	1138.952	5694.761	11389.522	56947.608	113895.216	569476.082	1138952.164
6 h	1.367	6.834	13.667	68.337	136.674	683.371	1366.743	6833.713	13667.426	68337.130	136674.260	683371.298	1366742.597
7 h	1.595	7.973	15.945	79.727	159.453	797.267	1594.533	7972.665	15945.330	79726.651	159453.303	797266.515	1594533.030
8 h	1.822	9.112	18.223	91.116	182.232	911.162	1822.323	9111.617	18223.235	91116.173	182232.346	911161.731	1822323.462
9 h	2.050	10.251	20.501	102.506	205.011	1025.057	2050.114	10250.569	20501.139	102505.695	205011.390	1025056.948	2050113.895
10 h	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433	1138952.164	2277904.328
11 h	2.506	12.528	25.057	125.285	250.569	1252.847	2505.695	12528.474	25056.948	125284.738	250569.476	1252847.380	2505694.761
12 h	2.733	13.667	27.335	136.674	273.349	1366.743	2733.485	13667.426	27334.852	136674.260	273348.519	1366742.597	2733485.194
13 h	2.961	14.806	29.613	148.064	296.128	1480.638	2961.276	14806.378	29612.756	148063.781	296127.563	1480637.813	2961275.626
14 h	3.189	15.945	31.891	159.453	318.907	1594.533	3189.066	15945.330	31890.661	159453.303	318906.606	1594533.030	3189066.059
15 h	3.417	17.084	34.169	170.843	341.686	1708.428	3416.856	17084.282	34168.565	170842.825	341685.649	1708428.246	3416856.492
16 h	3.645	18.223	36.446	182.232	364.465	1822.323	3644.647	18223.235	36446.469	182232.346	364464.692	1822323.462	3644646.925
17 h	3.872	19.362	38.724	193.622	387.244	1936.219	3872.437	19362.187	38724.374	193621.868	387243.736	1936218.679	3872437.358
18 h	4.100	20.501	41.002	205.011	410.023	2050.114	4100.228	20501.139	41002.278	205011.390	410022.779	2050113.895	4100227.790
19 h	4.328	21.640	43.280	216.401	432.802	2164.009	4328.018	21640.091	43280.182	216400.911	432801.822	2164009.112	4328018.223
20 h	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866	2277904.328	4555808.656
21 h	4.784	23.918	47.836	239.180	478.360	2391.800	4783.599	23917.995	47835.991	239179.954	478359.909	2391799.544	4783599.089
22 h	5.011	25.057	50.114	250.569	501.139	2505.695	5011.390	25056.948	50113.895	250569.476	501138.952	2505694.761	5011389.522
23 h	5.239	26.196	52.392	261.959	523.918	2619.590	5239.180	26195.900	52391.800	261958.998	523917.995	2619589.977	5239179.954
24 h	5.467	27.335	54.670	273.349	546.697	2733.485	5466.970	27334.852	54669.704	273348.519	546697.039	2733485.194	5466970.387
VOLUMEN DE AGUA EN LITROS NECESARIA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE HIDRÓGENO													

Fuente (Elaboración propia,2017)

Estas fichas funcionan de la siguiente manera:

1°.- Se debe conocer la cantidad de hidrógeno necesario para el proyecto.

2°.- Considerando la tabla 2 (Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua) se observa el volumen de agua necesario para obtener la cantidad de hidrógeno necesario; si no hay un valor exacto de realizará una regla de tres simple.

3°.- conociendo el volumen de agua necesario se observa en la tabla 4 (Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros) y se identifica el valor igual volumen de agua necesario y en la parte superior se identifica la potencia necesaria y en la parte izquierda se identifica el tiempo necesario para descomponer el agua en sus componentes de hidrógeno y oxígeno; si no se identifica el valor igual al volumen de agua necesario se busca el dato más cercano y se interpola los datos de potencia y tiempo.

3.1.2 Elaboración del diseño de un sistema de producción de 10 kg de hidrógeno mediante hidroenergía.

Se desea contar con una producción de 10 kg de hidrógeno diarios por un periodo de un año, para lo cual se elabora el diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía.

Cálculo del volumen de agua necesario.

1°.- Se debe conocer la cantidad de hidrógeno necesario para el proyecto.

$$H_2 = 10\text{kg}$$

2°.- Considerando la tabla 5 (Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua para un dato determinado) se observa el volumen de agua necesario para obtener la cantidad de hidrógeno necesario; si no hay un valor exacto de realizará una regla de tres simple.

Tabla 6: Ficha de observación de obtención de hidrógeno mediante volumen de agua para un dato determinado

FICHA DE OBSERVACIÓN DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE VOLUMEN DE AGUA.			
Vol. Agua	Vol. Agua	Hidrógeno	Hidrógeno
(L)	(m3)	g	(Kg)
1	0.001	111.111	0.111
5	0.005	555.556	0.556
10	0.010	1111.111	1.111
50	0.050	5555.556	5.556
100	0.100	11111.111	11.111
500	0.500	55555.556	55.556
1000	1.000	111111.111	111.111
5000	5.000	555555.556	555.556
10000	10.000	1111111.111	1111.111
50000	50.000	5555555.556	5555.556
100000	100.000	11111111.111	11111.111
500000	500.000	55555555.556	55555.556
1000000	1000.000	111111111.111	111111.111

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Como no se encuentra un dato exacto se realiza una regla de tres simple

11.11Kg (hidrógeno) → 100 l (agua)

10.00Kg (hidrógeno) → X l (agua)

$$X = \frac{100 \cdot 10.00}{11.11} = \mathbf{90.01 \text{ l (agua)}}$$

Cálculo de la energía necesaria para descomponer el volumen de agua obtenido.

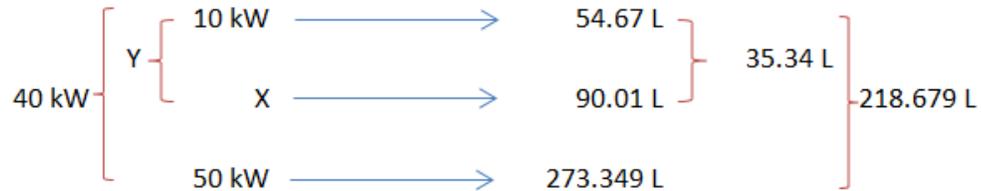
1°.- conociendo el volumen de agua necesario se observa en la tabla 6 (Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros para un dato determinado), se identifica el valor igual al volumen de agua necesario, en la parte superior se identifica la potencia necesaria y en la parte izquierda se identifica el tiempo necesario para descomponer el agua en sus componentes de hidrógeno y oxígeno; si no se identifica el valor igual al volumen de agua necesario se busca el dato más cercano y se interpola los datos de potencia y tiempo. .

Tabla 7: Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros para un dato determinado

FICHA DE OBSERVACIÓN DE ENERGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON CIERTO VOLUMEN DE AGUA EN LITROS													
POTENCIA / TIEMPO	1 kW	5 kW	10 kW	50 kW	100 kW	500 kW	1000 kW	5000 kW	10000 kW	50000 kW	100000 kW	500000 kW	1000000 kW
1 h	0.228	1.139	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433
2 h	0.456	2.278	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866
3 h	0.683	3.417	6.834	34.169	68.337	341.686	683.371	3416.856	6833.713	34168.565	68337.130	341685.649	683371.298
4 h	0.911	4.556	9.112	45.558	91.116	455.581	911.162	4555.809	9111.617	45558.087	91116.173	455580.866	911161.731
5 h	1.139	5.695	11.390	56.948	113.895	569.476	1138.952	5694.761	11389.522	56947.608	113895.216	569476.082	1138952.164
6 h	1.367	6.834	13.667	68.337	136.674	683.371	1366.743	6833.713	13667.426	68337.130	136674.260	683371.298	1366742.597
7 h	1.595	7.973	15.945	79.727	159.453	797.267	1594.533	7972.665	15945.330	79726.651	159453.303	797266.515	1594533.030
8 h	1.822	9.112	18.223	91.116	182.232	911.162	1822.323	9111.617	18223.235	91116.173	182232.346	911161.731	1822323.462
9 h	2.050	10.251	20.501	102.506	205.011	1025.057	2050.114	10250.569	20501.139	102505.695	205011.390	1025056.948	2050113.895
10 h	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433	1138952.164	2277904.328
11 h	2.506	12.528	25.057	125.285	250.569	1252.847	2505.695	12528.474	25056.948	125284.738	250569.476	1252847.380	2505694.761
12 h	2.733	13.667	27.335	136.674	273.349	1366.743	2733.485	13667.426	27334.852	136674.260	273348.519	1366742.597	2733485.194
13 h	2.961	14.806	29.613	148.064	296.128	1480.638	2961.276	14806.378	29612.756	148063.781	296127.563	1480637.813	2961275.626
14 h	3.189	15.945	31.891	159.453	318.907	1594.533	3189.066	15945.330	31890.661	159453.303	318906.606	1594533.030	3189066.059
15 h	3.417	17.084	34.169	170.843	341.686	1708.428	3416.856	17084.282	34168.565	170842.825	341685.649	1708428.246	3416856.492
16 h	3.645	18.223	36.446	182.232	364.465	1822.323	3644.647	18223.235	36446.469	182232.346	364464.692	1822323.462	3644646.925
17 h	3.872	19.362	38.724	193.522	387.244	1936.219	3872.437	19362.187	38724.374	193621.868	387243.736	1936218.679	3872437.358
18 h	4.100	20.501	40.002	205.011	410.023	2050.114	4100.228	20501.139	41002.278	205011.390	410022.779	2050113.895	4100227.790
19 h	4.328	21.640	43.280	216.401	432.802	2164.009	4328.018	21640.091	43280.182	216400.911	432801.822	2164009.112	4328018.223
20 h	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866	2277904.328	4555808.656
21 h	4.784	23.918	47.836	239.180	478.360	2391.800	4783.599	23917.995	47835.991	239179.954	478359.909	2391799.544	4783599.089
22 h	5.011	25.057	50.114	250.569	501.139	2505.695	5011.390	25056.948	50113.895	250569.476	501138.952	2505694.761	5011389.522
23 h	5.239	26.196	52.392	261.959	523.918	2619.590	5239.180	26195.900	52391.800	261958.998	523917.995	2619589.977	5239179.954
24 h	5.467	27.335	54.670	273.349	546.697	2733.485	5466.970	27334.852	54669.704	273348.519	546697.039	2733485.194	5466970.387
VOLUMEN DE AGUA EN LITROS NECESARIA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE HIDRÓGENO													

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Como el tiempo es de 24h, solo nos ubicamos en la fila 24, pero como no hay un dato exacto (90.01 l), interpolamos los datos:



$$\frac{40kW}{y} = \frac{218.670L}{35.340L}$$

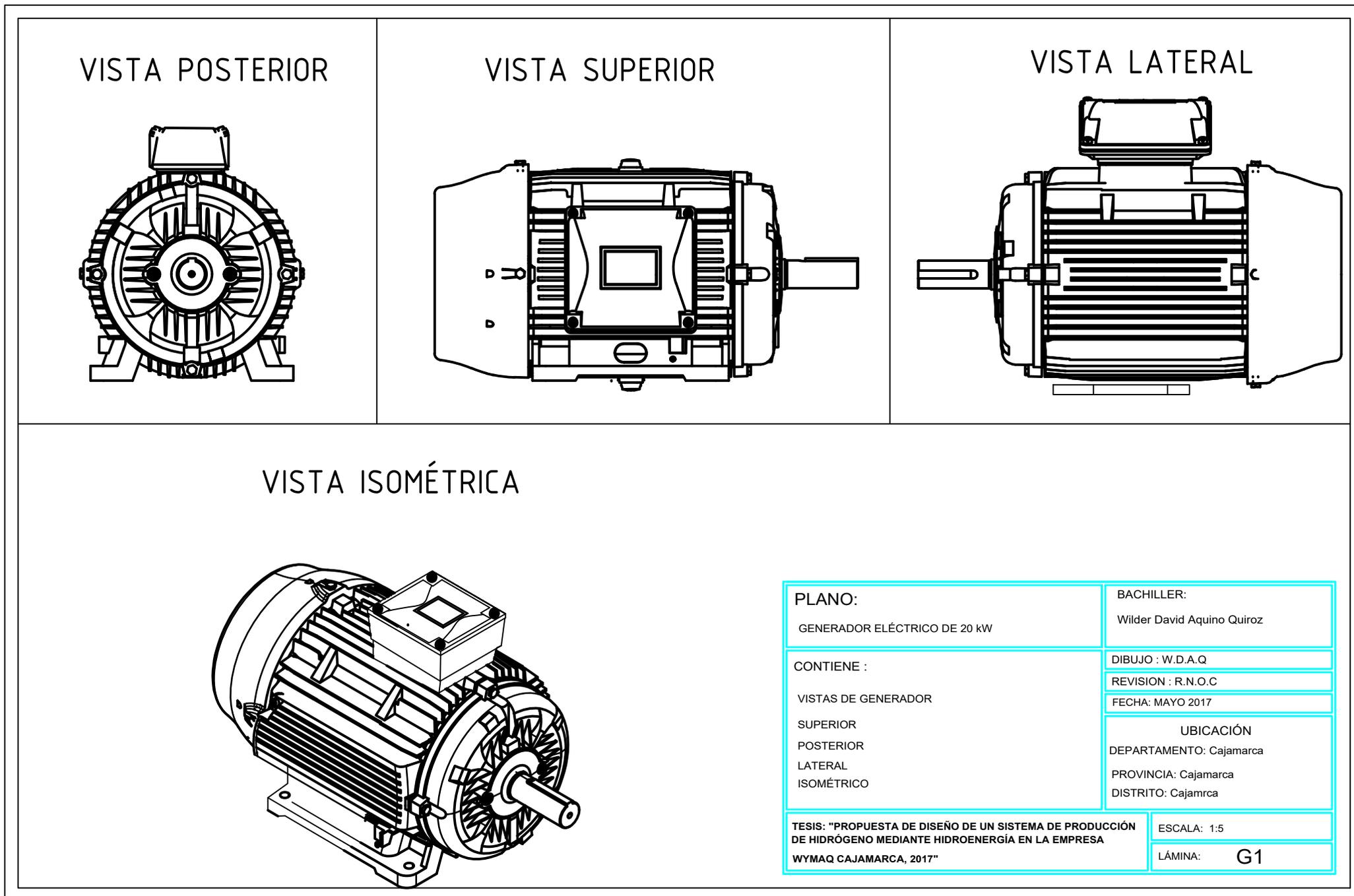
$$y = 6.465 \text{ kW}$$

$$X = 10kW + y$$

$$X = 10kW + 6.465 = 16.465 \text{ kW}$$

Observamos que es necesario un generador de 16.465 kW; pero como no es estándar o comercial podemos utilizar un generador eléctrico de 20 kW.

Figura 15: Plano de Generador eléctrico de 20 kW



Diseño de turbina para generación de la energía necesaria

Datos:

Potencia necesaria: 20 kW

Caudal de agua: 0.1m³/s (Asumido)

Eficiencia de la turbina: 85% (T. Pelton)

Potencia aproximada de diseño.

$$P_e = g * Q * H * \eta$$

Donde:

g: gravedad

Q: Caudal

H: Altura neta

η : Rendimiento o eficiencia de la turbina

Calculamos la altura neta (H)

$$H = 23.99$$

Velocidad específica (n_s)

$$n_s = \frac{n * P_e}{H^{5/4}}$$

Velocidad Angular (n)

$$n_s = 30 \text{ rpm}$$

$$n = 305.45 \text{ rpm}$$

frecuencia: 5.09 Hz

Factor de velocidad (C₁)

$$C_1 = 0.98$$

Velocidad absoluta (c₁)

$$c_1 = C_1 * \sqrt{2 * g * H}$$

$$c_1 = 21.26 \text{ m/s}$$

Velocidad tangencial (u)

$$u = 0.46 * c_1$$

Diámetro del chorro (d)

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * c_1}}$$

$$d = 0.077 \text{ m} = 7.7 \text{ cm}$$

Dimensiones de cuchara y su paso

Longitud de cuchara (L)

$$L = 2.1 * d$$

$$L = 16.30 \text{ cm}$$

Anchura de cuchara (B)

$$B = 2.5 * d$$

$$B = 19.30 \text{ cm}$$

Profundidad de cuchara (T)

$$T = 0.85 * d$$

$$T = 6.58 \text{ cm}$$

Paso de cuchara (t)

$$t = 2d$$

$$t = 15.5$$

Mella de cuchara (m)

$$m = 1.1 * d$$

$$m = 8.51 \text{ cm}$$

Diámetro de rodete (D)

$$D = \frac{60 * u}{\pi * n}$$

$$D = 61 \text{ cm}$$

Número de cucharas (Z)

$$Z = \frac{\pi * D}{t}$$

$$Z = 12$$

t: definitivo

$$t = 16 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad D/d = 7.88$$

Diseño del casco de turbina

Conociendo el diámetro del rodete más las dimensiones de las cucharas de la turbina se tendrá un diámetro total de la turbina.

Largo del casco

$$D_T = 0.61\text{m} + 2(0.163\text{m}) = 0.936\text{m}$$

Por lo tanto, el largo del casco deberá ser mayor a 0.936m, en nuestro caso consideraremos:

$$L_C = 1.50\text{m}$$

Altura del casco

Se considerará la misma dimensión de largo del casco

$$A_c = 1,50\text{m}$$

Ancho del casco

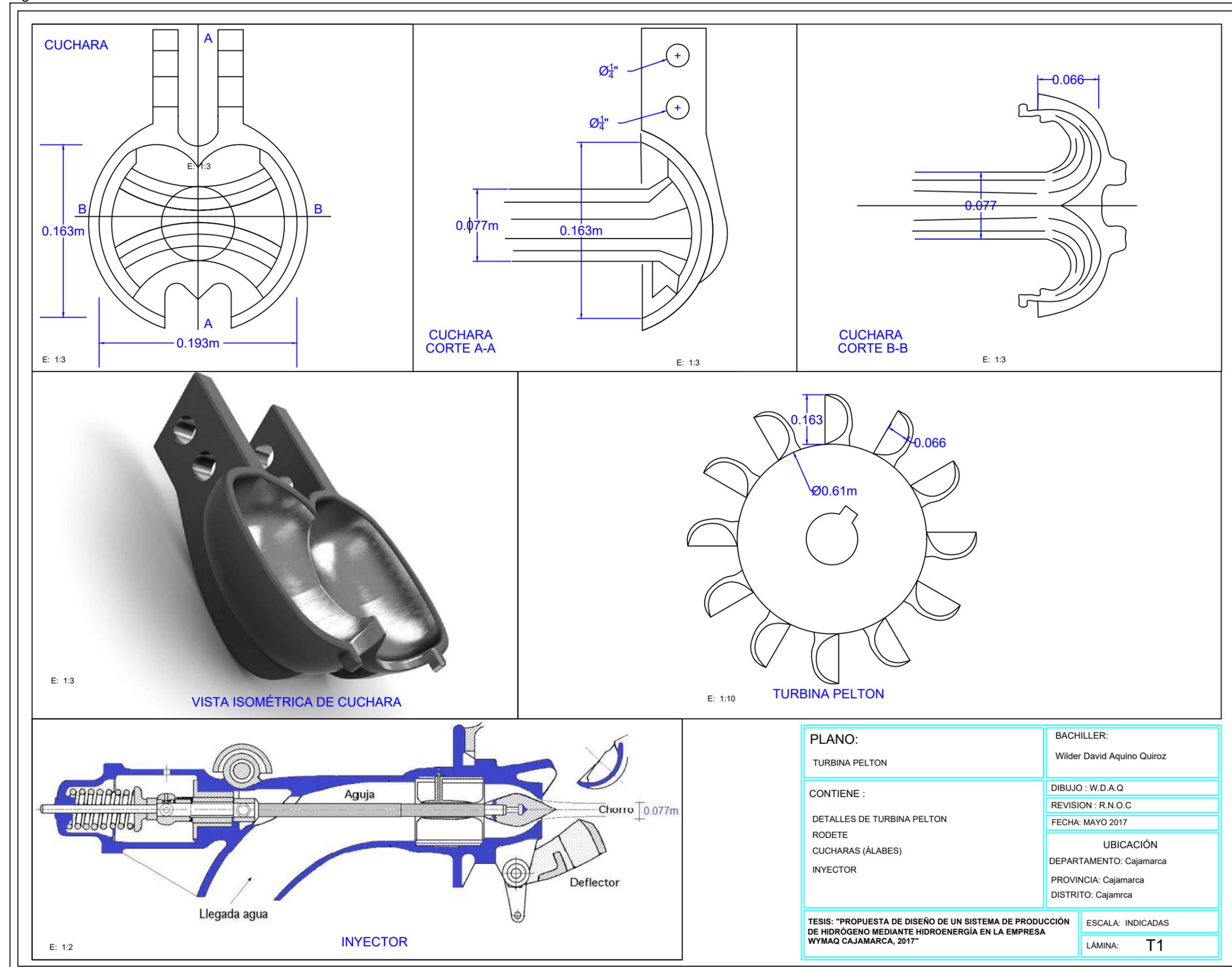
Para ello consideraremos el ancho de las cucharas

$$B = 19.30 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el largo del casco deberá ser mayor a 0.193m, en nuestro caso consideraremos:

$$A_c = 0.50\text{m}$$

Figura 16: Plano detalles de turbina Pelton



Fuente (Elaboración propia., 2017)

Diseño de la celda de hidrógeno.

Conociendo el volumen de agua a ser descompuesta por electrolisis, elaboramos el diseño de la celda:

Volumen de agua: 90.01litros

$$V_{H_2O} = 0.09m^3$$

Para tener medidas exactas podemos diseñar el contenedor de la celda de $0.45m \times 0.45m \times 0.45m = 0.091m^3$

Tabla 8: Dimensionamiento de la celda de hidrógeno (electrólisis)

PARTES	CANTIDAD	UNIDAD	DIMENSIONES			MATERIAL
			ALTO (m)	LARGO(m)	ESPESOR(m)	
BASE	2	Und	0.45	0.45	0.1	MICA ACRÍLICA
COLECTOR POSITIVO	6	Und	0.35	0.35	0.002	ACERO INOXIDABLE
COLECTOR NEGATIVO	6	Und	0.35	0.35	0.002	ACERO INOXIDABLE
EMPAQUE	11	Und	0.35	0.35	0.002	MICA ACRÍLICA
PERNO DE 1/4" X 3" MÁS TUERCA	8	Und	-	-	-	ACERO INOXIDABLE
PERNO DE 1/4" X 2" MÁS TUERCA	2	Und	-	-	-	ACERO INOXIDABLE

DIMENSIONES DE LA CELDA	1	Und	0.45	0.45	0.106
-------------------------	---	-----	------	------	-------

Fuente (Elaboración Propia, 2017)

Volumen de la celda

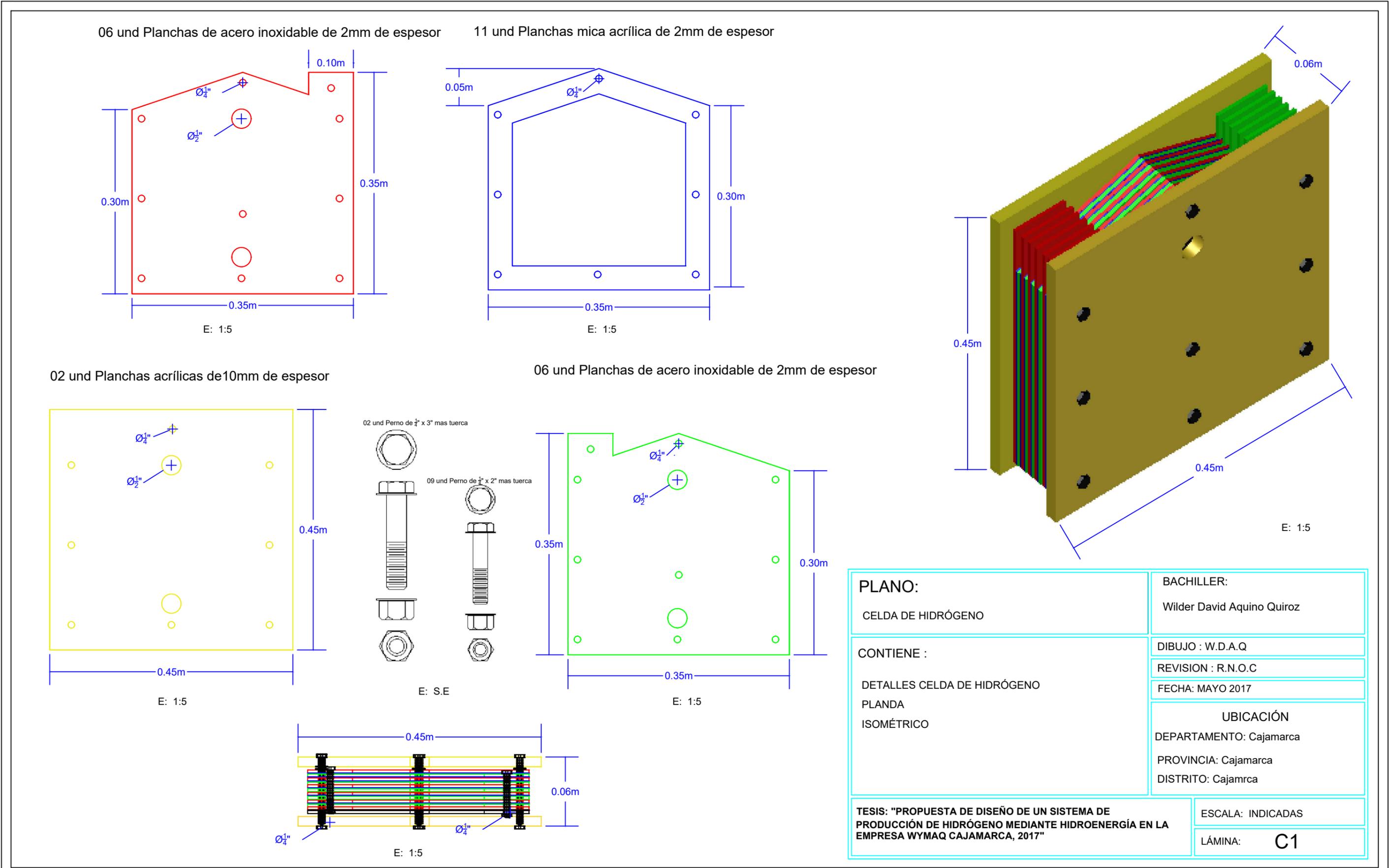
$$V_c = 0.45m \times 0.45m \times 0.106m = 0.0215m^3$$

$$\text{Volumen total} = V_c + V_{H_2O} = 0.0215m^3 + 0.09m^3 = 0.111m^3$$

Por lo tanto, el contenedor de la celda deberá tener este volumen

Las dimensiones serán: $0.48m \times 0.48m \times 0.48m$

Figura 17: Plano de detalles celda de hidrógeno

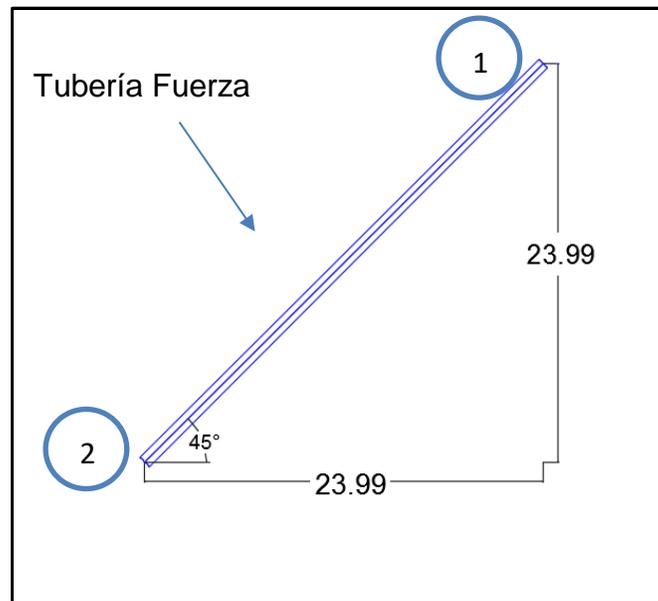


Fuente (Elaboración propia, 2017)

Diseño del diámetro de la tubería fuerza

Consideraremos una tubería con un grado de inclinación de 45° para cuestión de cálculos.

Figura 18: Esquema de perfil de tubería fuerza:



Fuente (Elaboración propia, 2017)

Cálculo de la longitud de la tubería (L):

Por Pitágoras: $L = 23.99\sqrt{2} = 33.93\text{m}$

Datos:

H: 23.99m

Q: 0.1m³/s

Aplicando la ecuación de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

Dónde:

Z_i = Carga de posición (m), también considerada carga hidrostática.

P_i = Presión estática a la que está sometido el fluido, kg/m².

γ = Peso específico del fluido, kg/m³.

V_i = Velocidad, m/s.

g = Aceleración gravitatoria 9,81 m/s².

$\sum h_f$: Son las pérdidas de energía que existen en el recorrido, más las pérdidas locales de energía provocadas por dispositivos como válvulas, codos, reducciones, etc., en m.

Sabiendo que:

La diferencia de alturas entre los 2 puntos es: $Z_2 - Z_1 = 23.99$ m

La presión estática tanto en el punto 1 como en el punto 2 es igual a cero (0)

La velocidad en el punto 1 es cero (0)

Por lo tanto, tenemos:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

$$24 = \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_f$$

Se considerará nula las pérdidas de carga solo para cuestión de cálculos.

Obteniendo la siguiente ecuación

$$24 = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$V = 21.7 \text{ m/s}$$

Se sabe que $Q = V \cdot A$

Donde:

Q: Caudal

A: Área de la sección del tubo

Reemplazando el valor de V se obtiene y de Q

$$A = \frac{0.1 \text{ m}^3/\text{s}}{21.7 \text{ m/s}} = 0.0046 \text{ m}^2$$

Entonces:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$D = 0.076 \text{ m}$$

$$D = 3.01 \text{ ''}$$

Calculamos las pérdidas de carga: $h_c + h_L$

$$h_c = 0.0826 \cdot f \cdot \frac{Q^2}{D^5} \cdot L$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Con la ayuda de una hoja de Excel calculamos el valor de f.

Datos de entrada

Longitud (m)	33.93	
Diámetro (cm)	7.62	
Rugosidad (cm)	0.00015	
Caudal (m³/s)	0.1	
velocidad (m/s)		
viscosidad cinemática	1.007E-06	valor por defecto para agua a 20°C

cálculos intermedios		
Rugosidad relativa	0.00002	
velocidad (m/s)	21.93	

Número de Reynolds 1.66E+06

Coef.f	Intento	f propuesto	Termino 2º	f de Termino 1	Dif (%)
	0	0.013	9.46	0.011171	16.38
	1	0.011171	9.41	0.011284	1.00
	2	0.011284	9.42	0.011276	0.07
	3	0.011276	9.42	0.011276	0.00

Cálculo de h_c **123.05** m

Al calcular obtenemos una pérdida de carga demasiado elevada, por lo cual deberá considerarse un diámetro de la tubería mayor a 3"

Consideraremos un diámetro de 6"

cálculos intermedios

Rugosidad relativa 0.00001

velocidad (m/s) 5.48

Número de Reynolds 8.30E+05

Coef.f	Intento	f propuesto	Termino 2º	f de Termino 1	Dif (%)
	0	0.013	9.07	0.012157	6.93
	1	0.012157	9.04	0.012229	0.58

Inte	0.012	9.05	0.012	0.
nto	229		223	0
2				5
Inte	0.012	9.05	0.012	0.
nto	223		223	0
3				0

Cálculo de h_c 4.17 m

Con este diámetro de tubería la pérdida de carga es baja, por lo cual tomaremos este diámetro.

Ahora calcularemos las pérdidas locales

Para ello solo consideraremos un codo de 45° a la llegada del sistema.

$$h_L = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

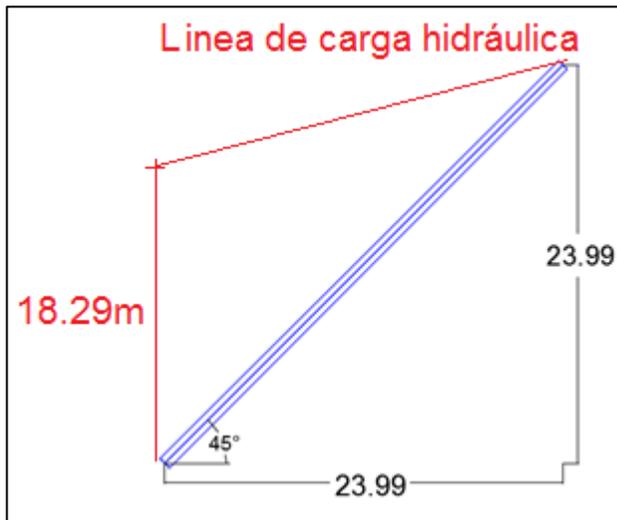
$$K_{\text{Codo } 45^\circ} = 0.4$$

$$h_L = 0.4 * \frac{5.48^2}{2 * 9.81} = 1.53m$$

Entonces,

$$\sum h_f = 4.17m + 1.53m = 5.70m$$

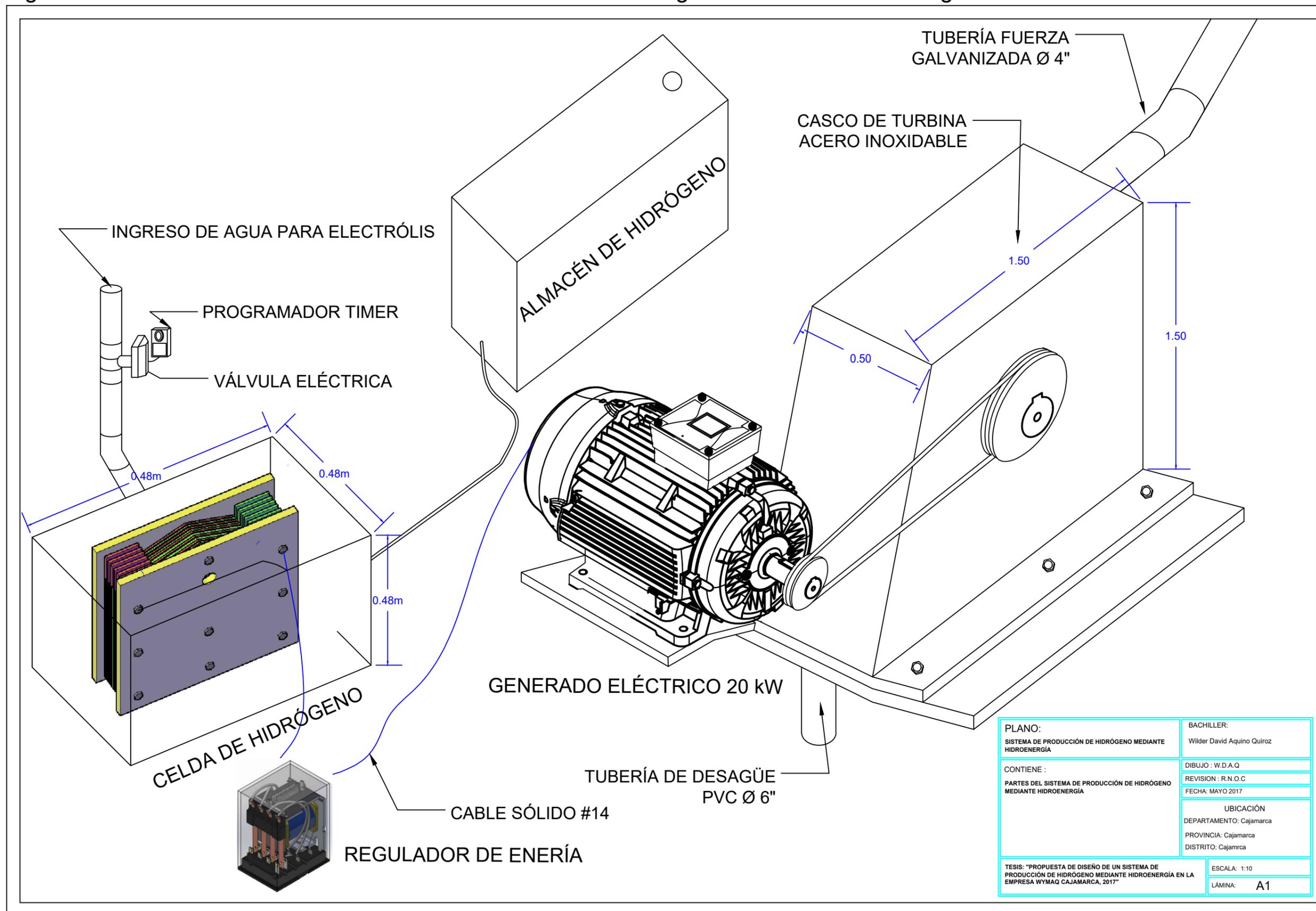
Figura 19: Línea de carga hidráulica en tubería fuerza



Fuente (Elaboración propia, 2017)

Conociendo el diseño propuesto para la producción de hidrógeno, ahora automatizaremos el mecanismo para el ingreso de agua hacia la celda de hidrógeno mediante una válvula eléctrica y un programador timer, esto para tener una constante producción de hidrógeno sin que intervenga la acción humana constantemente, así como se muestra en el plano 04.

Figura 20: Plano de Partes Del Sistema De Producción De Hidrógeno Mediante Hidroenergía



Fuente (Elaboración propia, 2017)

Tabla 9: Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno con cierto volumen de agua en litros para una proyección a un año de funcionamiento)

FICHA DE OBSERVACIÓN DE ENERGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON CIERTO VOLUMEN DE AGUA EN LITROS												
POTENCIA	1 KW	5 KW	10 KW	100 KW	500 KW	1000 KW	5000 KW	10000 KW	50000 KW	100000 KW	500000 KW	1000000 KW
1 H	0.228	1.139	2.278	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433
2 H	0.456	2.278	4.556	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866
3 H	0.683	3.417	6.834	68.337	341.686	683.371	3416.856	6833.713	34168.565	68337.130	341685.649	683371.298
4 H	0.911	4.556	9.112	91.116	455.581	911.162	4555.809	9111.617	45558.087	91116.173	455580.866	911161.731
5 H	1.139	5.695	11.390	113.895	569.476	1138.952	5694.761	11389.522	56947.608	113895.216	569476.082	1138952.164
6 H	1.367	6.834	13.667	136.674	683.371	1366.743	6833.713	13667.426	68337.130	136674.260	683371.298	1366742.597
7 H	1.595	7.973	15.945	159.453	797.267	1594.533	7972.665	15945.330	79726.651	159453.303	797266.515	1594533.030
8 H	1.822	9.112	18.223	182.232	911.162	1822.323	9111.617	18223.235	91116.173	182232.346	911161.731	1822323.462
9 H	2.050	10.251	20.501	205.011	1025.057	2050.114	10250.569	20501.139	102505.695	205011.390	1025056.948	2050113.895
10 H	2.278	11.390	22.779	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433	1138952.164	2277904.328
11 H	2.506	12.528	25.057	250.569	1252.847	2505.695	12528.474	25056.948	125284.738	250569.476	1252847.380	2505694.761
12 H	2.733	13.667	27.335	273.349	1366.743	2733.485	13667.426	27334.852	136674.260	273348.519	1366742.597	2733485.194
13 H	2.961	14.806	29.613	296.128	1480.638	2961.276	14806.378	29612.756	148063.781	296127.563	1480637.813	2961275.626
14 H	3.189	15.945	31.891	318.907	1594.533	3189.066	15945.330	31890.661	159453.303	318906.606	1594533.030	3189066.059
15 H	3.417	17.084	34.169	341.686	1708.428	3416.856	17084.282	34168.565	170842.825	341685.649	1708428.246	3416856.492
16 H	3.645	18.223	36.446	364.465	1822.323	3644.647	18223.235	36446.469	182232.346	364464.692	1822323.462	3644646.925
17 H	3.872	19.362	38.724	387.244	1936.219	3872.437	19362.187	38724.374	193621.868	387243.736	1936218.679	3872437.358
18 H	4.100	20.501	41.002	410.023	2050.114	4100.228	20501.139	41002.278	205011.390	410022.779	2050113.895	4100227.790
19 H	4.328	21.640	43.280	432.802	2164.009	4328.018	21640.091	43280.182	216400.911	432801.822	2164009.112	4328018.223
20 H	4.556	22.779	45.558	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866	2277904.328	4555808.656
21 H	4.784	23.918	47.836	478.360	2391.800	4783.599	23917.995	47835.991	239179.954	478359.909	2391799.544	4783599.089
22 H	5.011	25.057	50.114	501.139	2505.695	5011.390	25056.948	50113.895	250569.476	501138.952	2505694.761	5011389.522
23 H	5.239	26.196	52.392	523.918	2619.590	5239.180	26195.900	52391.800	261958.998	523917.995	2619589.977	5239179.954
24 H	5.467	27.335	54.670	546.697	2733.485	5466.970	27334.852	54669.704	273348.519	546697.039	2733485.194	5466970.387
8760 H	1995.444	9977.221	19954.442	199544.419	997722.096	1995444.191	9977220.957	19954441.913	99772209.567	199544419.134	997722095.672	1995444191.344
VOLUMEN DE AGUA EN LITROS NECESARIA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE HIDRÓGENO												

Fuente (Elaboración propia, 2017)

En la siguiente tabla se presenta los montos en nuevos soles de lo que podría costar la construcción del diseño propuesto, teniendo en cuenta que los precios pueden variar de acuerdo a la marca del producto y al proveedor que se solicite.

Tabla 10: Presupuestos de suministros para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía

SUMINISTRO DE RECURSOS PARA CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA					
ITEM	RECURSO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO PARCIAL
1	Tubería galvanizada	6	und	377	2,262.00
2	Turbina	1	und	850	850.00
3	Casco de turbina	1	und	100	100.00
4	Inyector	1	und	250	250.00
5	poleas	2	und	50	100.00
6	faja	1	und	20	20.00
7	generador eléctrico	1	und	1,500.00	1,500.00
8	celda de hidrógeno	1	und	300	300.00
9	conductos para hidrógeno	2	m	10	20.00
10	Regulador de energía	1	und	120	120.00
11	Programador Thimer	1	und	250	250.00
12	Válvula eléctrica	1	und	225	225.00
13	Cable sólido #14	10	m	2.5	25.00
14	Accesorios de instalación	1	glb	100	100.00
TOTAL					6,122.00

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Tabla 11: Presupuestos de para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía

PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEI DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE HIDROENERGÍA EN LA EMPRESA WYMAQ CAJAMARCA, 2017									
Partida	01.01.01	PROFESIONALES DE INGENIERÍA							
Rendimiento	mes/DÍA	MO. 0.2000	EQ. 0.0333	Costo unitario directo por : mes				800.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra							
1010200010031	INGENIERO MECÁNICO				hh	1.0000	40.0000	20.00	800.00
Partida	01.01.02	MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN							
Rendimiento	mes/DÍA	MO. 0.2000	EQ. 0.0333	Costo unitario directo por : mes				1,080.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Mano de Obra							
102010008	OPERARIO				hh	1.0000	40.0000	15.00	600.00
102010009	AYUDANTE DE OPERARIO				hh	1.0000	40.0000	12.00	480.00
Partida	01.01.03	COSTO INDIRECTO - MATERIALES							
Rendimiento	mes/DÍA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : mes				255.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Materiales							
0231080061	SERVICIO DE TELEFONÍA				ser		3.0000	85.00	255.00
Partida	01.01.04	EQUIPOS DE TRANSPORTE							
Rendimiento	día/DÍA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : día				75.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Materiales							
0294013154	TRASLADO DE EQUIPOS Y PERSONAL				ser		5.0000	15.00	75.00
Partida	01.01.05	COSTO INDIRECTO - MATERIALES							
Rendimiento	mes/DÍA	MO. 1.0000	EQ. 1.0000	Costo unitario directo por : mes				600.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Materiales							
0231080061	SERVICIO DE ANÁLISIS DE AGUA				ser		2.0000	300.00	600.00
Partida	01.01.06	EQUIPOS Y ERRAMIENTAS							
Rendimiento	glb/DÍA	MO.	EQ. 0.033333	Costo unitario directo por : glb				155.00	
Código	Descripción Recurso				Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		Subcontratos							
423110001	NIVEL DE INGENIERO				ser		1.0000	75.00	75.00
423240002	MALETA DE HERRAMIENTAS MECÁNICAS				und		1.0000	50.00	50.00
423240003	KIT DE HERRAMIENTAS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL				und		1.0000	30.00	30.00

Fuente (Elaboración propia, 2017)

Tabla 12: Resumen de presupuestos de para la construcción de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía

PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEI DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE HIDROENERGÍA EN LA EMPRESA WYMAQ CAJAMARCA, 2017						
Presupuesto	SERVICIO DE INGENIERÍA - DISEÑO DE EVACUACION Y TRATAMIENTO DE AGUA DE LAGUNA - COMPLEJO TURISTICO - BAÑOS DEL INCA					
Cliente	BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA					
Lugar	Cajamarca - Baños del Inca				Fecha	29/05/2017
						REV 1
Item	Descripción	CANTIDAD	UND	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	
1	PROFESIONALES DE INGENIERÍA	1	Ser	800.00	800.00	
2	MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN	1	Ser	1,080.00	1,080.00	
3	COSTO INDIRECTO - MATERIALES	1	Ser	255.00	255.00	
4	EQUIPOS DE TRANSPORTE	1	Ser	75.00	75.00	
5	COSTO INDIRECTO - MATERIALES	1	Ser	600.00	600.00	
6	EQUIPOS Y ERRAMIENTAS	1	Ser	155.00	155.00	
7	SUMINISTROS	1	Ser	6,122.00	6,122.00	
COSTO DIRECTO						9,087.00
COSTO TOTAL					S/.	9,087.00

Fuente (Elaboración propia, 2017)

CAPÍTULO IV: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

4.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS GENERAL

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre la hipótesis general y el

Tabla 13: Hipótesis general vs. Resultados obtenidos

ITEM	HIPÓTESIS GENERAL	RESULTADOS OBTENIDOS
1	Con la propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017, es posible producir hidrógeno como fuente alternativa de energía.	De acuerdo al estudio realizado en esta investigación se presenta un diseño para la producción de hidrógeno y de acuerdo a la necesidad de producción se realiza el diseño dando resultado positivo respecto a la producción de hidrógeno.

Fuente (Elaboración propia , 2017)

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Tabla 14: Hipótesis generales vs. Resultados obtenidos

ITEM	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	RESULTADOS ALCANZADOS
1	El diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ Cajamarca durante el 2017, tendrá una eficiencia muy considerable con respecto a los demás sistemas conocidos.	La producción de hidrógeno con este diseño tendrá costos únicos de la construcción y mantenimiento del sistema, sin generación de gastos adicionales por lo cual se hace eficiente para producir hidrógeno como energía alterna respecto a las fuentes de energía actual como los hidrocarburos, además que los recursos aplicados son renovables.
2	Con una mínima capacidad de hidroenergía se podrá producir una considerable cantidad de hidrógeno mediante el sistema propuesto en la empresa WYMAQ Cajamarca durante el 2017.	La producción de hidrógeno mediante el diseño propuesto es directamente proporcional a la cantidad de hidroenergía multiplicado por la constante " 9 " así para producir 10kg de hidrógeno será: 10kg → $9 \times 10=90\text{kW.h}$

Fuente (Elaboración propia, 2017)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se generó una propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017, con el cual se obtuvo resultado teórico, que consta de una captación de agua, una tubería fuerza, turbina, generador y celda de electrolisis.

Se elaboró un sistema teórico para la obtención de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ Cajamarca durante el 2017, que consta en la aplicación de la hidroenergía para alimentar a una celda de hidrógeno producir hidrógeno por electrolisis del agua.

Mediante fichas de observación se evaluó la capacidad hidroenergética, con la obtención del hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa WYMAQ - Cajamarca durante el 2017; obteniendo producción de hidrógeno con solo un costo de construcción y mantenimiento del sistema.

RECOMENDACIONES

Para un modelamiento de este diseño se recomienda calibrar con datos obtenidos en esta investigación y los recogidos en campo.

Si se llegara aplicarse estos datos en campo deberá de tenerse los instrumentos certificados por una empresa con garantía, y las condiciones adecuadas como es un laboratorio de ingeniería mecánica, además de contar con el respectivo EPP, ya que manipular grandes volúmenes de hidrógeno podría causar daños a la salud.

Para llevar a cabo la ejecución del diseño propuesto en esta investigación se debe revisar bibliografía de diseño de turbinas para generar energía eléctrica mediante hidroenergía y diseño de celdas de hidrógeno para generación de electrólisis del agua.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Abdel, A. & Shenawy, E. (2014). Integration of Sustainable Energy Sources with hydrogen vector with case studies. *Journal of Energy and power sources*, 1(1), 147-151. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/292747662_Integration_of_Sustainable_Energy_Sources_with_Hydrogen_Vector_with_Case_Studies
- Castillo, A. & Malca, A. (2013). Analisis Y Propuesta Para El Diseño De Un Sistema De Supervisión Y Control Para Un Centro Operacional De Distribucion De Gas Natural En La Region Ica (Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego). Recuperado de http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/upaorep/807/1/CASTILLO_ERIC_PROUESTA_SISTEMA_SUPERVISI%C3%93N.pdf
- Alvaro, T. (2007). *El hidrógeno como fuente alterna de energía*, (Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Mexico). Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/3263/1/50.pdf>
- Arroyo, P. (24 de mayo 2011). Electrólisis y Pilas, química y algo más. Recuperado de <http://www.quimicayalgomas.com/quimica-general/electrolis-y-pilas/>
- Carvajal, H., Babativa, J. & Alonso, J. (2010). Estudio sobre producción de H₂ con hidroelectricidad para una economía de hidrógeno en Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 12(1), 31-41. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323517003.pdf>
- Fajardo, A (2010). Corriente Continua y Alterna, monografías.com. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos82/corriente-continua-y-alterna/corriente-continua-y-alterna.shtml>
- Familiar, C. (2011). *Inyección de Hidrógeno como Potencial Mejora de los Motores Actuales*. (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13713/2%20%20PROYECTO%20FINAL%20DE%20CARREERA%20%20INYECCI%C3%93N%20DE%20HIDR%C3%93GENO%20COM>

O%20POTENCIAL%20MEJORA%20DE%20LOS%20MOTORES%20ACTU
A.pdf <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3655/62143V434.pdf?sequence=1>

Gutiérrez, L. (2005). El Hidrógeno, Combustible Del Futuro. Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp), 99(1), p.49. Recuperado de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00447.pdf>

Montes J., Abánades A., Martínez J. (2008). Producción de Hidrógeno a Partir de Energía Solar. Centro de Análisis de Desarrollo Energético Sostenible. 1(1), 1. Recuperado de <http://kimerius.com/app/download/5781455914/Producci%C3%B3n+de+hidr%C3%B3geno+a+partir+de+energ%C3%ADa+solar.pdf>

López, A. (22 de mayo de 2011). Ventajas e inconvenientes de la energía hidráulica, SMI Energía Renovable. Recuperado de <https://smienergias.wordpress.com/2011/05/22/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-hidraulica/>

Pérez, J. & Gardey, A. (2013). Definición de agua, Definición de. Recuperado de <http://definicion.de/agua/Agua>

Pérez, J. & Merino, M. (2014). Definición de hidrógeno, Definición de. Recuperado de <http://definicion.de/hidrogeno/>

Pérez, J. & Merino, M. (2009). Definición de oxígeno, definición de. Recuperado de <http://definicion.de/oxigeno/>

Perkins, C. & Weimer, A. (2004). Likely near-term solar-thermal water splitting technologies. International Journal of Hydrogen Energy, 29(1), 1587-1599. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319904000990>

Pyle, W., Healy, J. & Cortez, R. (1994). Solar Hydrogen Production by electrolysis. Home Power, 39(1), 33. Recuperado de <http://free-energy-devices.com/P10.pdf>

Rifkin, J. & Hoffman, A. (2002). Hydrogen Fuel Cells and the “Hydrogen Economy”. Infinite Energy, 1(1), 1-6. Recuperado de <http://173.254.3.220/images/pdfs/hydrogeneconomy.pdf>

- Rössel, D. (2012). La Generación de Biogás con un Biogás-Contenedor en Zonas Marginadas. *Agrocentro*, 5(45), 12. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4425555.pdf>
- Sousa, V., Driessnack, M. & Costa, I. (2007). Revisión de Diseños de Investigación. *Rev Latino-am Enfermagem*. 15(3), 2. Recuperado de http://www.scielo.br/pdf/rlae/v15n3/es_v15n3a22.pdf
- Torres, J. (05 de noviembre de 2011). Plantas Hidroeléctricas, [hidroenergía.net](http://www.hidroenergía.net). Recuperado de http://www.hidroenergía.net/index.php?option=com_content&view=article&id=268:i-que-es-la-energia-hidroelectrica&catid=39:abc-de-las-hidroelectricas&Itemid=67
- Vásquez, I. (18 de diciembre de 2005). Tipos de estudio y métodos de investigación, [gestiopolis.com](http://www.gestiopolis.com). Recuperado de <http://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>
- Velásquez, J. & Quiceno, J. (2013). *Diseño de un Sistema de Generación de Hidrógeno Por Electrólisis*. (Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia). Recuperado de

ANEXOS:

Anexo 1.- Matriz de consistencia Título: Propuesta de Diseño de un Sistema de Producción de Hidrógeno Mediante Hidroenergía en la Empresa WYMAQ Cajamarca, 2017

TÍTULO	"PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO MEDIANTE HIDROENERGÍA EN LA EMPRESA WYMAQ CAJAMARCA, 2017"									
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA, TÉCNICA E INSTRUMENTO		
¿Será posible obtener hidrogeno mediante la propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq - Cajamarca durante el 2017?	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE	Hidroenergía	hidroenergía es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Se puede transformar a muy diferentes escalas.	La hidroenergía se obtiene del movimiento del agua que cae por gravedad desde cierta altura y esta hace mover una rueda llamada turbina la cual genera un movimiento a un rotor y este genera energía eléctrica.	CAPTADOR DE AGUA	VOLUMEN (m3)	Cálculo / Análisis Experimental / Hoja de cálculo	
	Generar una propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq Cajamarca durante el 2017, es posible producir hidrogeno como fuente alternativa de energía.	Con la propuesta de diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq Cajamarca durante el 2017, es posible producir hidrogeno como fuente alternativa de energía.					TIPO DE MATERIAL Y SUS PROPIEDADES HIDRAULICAS	Teórico / Análisis Documental / Tablas de Materiales		
							FLUIDO DE AGUA	CAUDAL (m3/S)	Cálculo / Análisis Experimental / Caudalímetro	
							VELOCIDAD DEL FLUIDO	Cálculo / Análisis Experimental / Correntometro		
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS SECUNDARIAS					CHARACTERISTICAS HIDRAULICAS	Teoria / Análisis Documental / Tablas de Características Hidráulicas		
			TURBINA	TORQUE (RPM)	Cálculo / Análisis Experimental / Tacómetro					
	Elaborar un sistema para la obtención de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq - Cajamarca durante el 2017?	El diseño de un sistema de producción de hidrógeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq Cajamarca durante el 2017, tendrá una eficiencia muy considerable con respecto a los demás sistemas conocidos.	DEPENDIENTE	Producción de hidrógeno	La producción de hidrógeno se realiza mediante diversos métodos que requieren la separación del hidrógeno de otros elementos químicos como el oxígeno (del agua).	Es la obtención de energía mediante un proceso de electrolisis mediante uso de cuerpos de agua H2O.	ELECTROLISIS	TIPO DE MATERIAL Y SUS PROPIEDADES HIDRAULICAS	Teórico / Análisis Documental / Tablas de materiales	
								GENERADOR	POTENCIA (kW)	Cálculo / Análisis Experimental / Vatiómetro
								CHARACTERISTICA ELECTRICAS	Teórico / Análisis Documental / Tablas de Corriente Electrica	
								POTENCIA (kW)	Cálculo / Análisis Experimental / Vatiómetro	
VOLUMEN (m3)								Cálculo / Análisis Experimental / Hoja de Cálculo		
Evaluar la capacidad hidroenergética, con la obtención del hidrogeno mediante hidroenergía en la empresa Wymaq Cajamarca durante el 2017.	Con una mínima capacidad de hidroenergía se podrá producir una considerable cantidad de hidrogeno mediante el sistema propuesto en la empresa Wymaq Cajamarca durante el 2017.	DEPENDIENTE	Producción de hidrógeno	La producción de hidrógeno se realiza mediante diversos métodos que requieren la separación del hidrógeno de otros elementos químicos como el oxígeno (del agua).	Es la obtención de energía mediante un proceso de electrolisis mediante uso de cuerpos de agua H2O.	RATIO DE GENERACION	VOLUMEN (m3)	Cálculo / Análisis Experimental / Hoja de Cálculo		
							CANTIDAD DE HIDROGENO	VOLUMEN (m3)	Cálculo / Análisis Experimental / Hoja de Cálculo	

Fuente (Elaboración propia. 2017)

Anexo 4.- Ficha de observación de energía utilizada para la obtención de hidrógeno

FICHA DE OBSERVACIÓN DE ENERGÍA UTILIZADA PARA LA OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO CON CIERTO VOLUMEN DE AGUA EN LITROS													
POTENCIA / TIEMPO	1 kW	5 kW	10 kW	50 kW	100 kW	500 kW	1000 kW	5000 kW	10000 kW	50000 kW	100000 kW	500000 kW	1000000 kW
1 h	0.228	1.139	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433
2 h	0.456	2.278	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866
3 h	0.683	3.417	6.834	34.169	68.337	341.686	683.371	3416.856	6833.713	34168.565	68337.130	341685.649	683371.298
4 h	0.911	4.556	9.112	45.558	91.116	455.581	911.162	4555.809	9111.617	45558.087	91116.173	455580.866	911161.731
5 h	1.139	5.695	11.390	56.948	113.895	569.476	1138.952	5694.761	11389.522	56947.608	113895.216	569476.082	1138952.164
6 h	1.367	6.834	13.667	68.337	136.674	683.371	1366.743	6833.713	13667.426	68337.130	136674.260	683371.298	1366742.597
7 h	1.595	7.973	15.945	79.727	159.453	797.267	1594.533	7972.665	15945.330	79726.651	159453.303	797266.515	1594533.030
8 h	1.822	9.112	18.223	91.116	182.232	911.162	1822.323	9111.617	18223.235	91116.173	182232.346	911161.731	1822323.462
9 h	2.050	10.251	20.501	102.506	205.011	1025.057	2050.114	10250.569	20501.139	102505.695	205011.390	1025056.948	2050113.895
10 h	2.278	11.390	22.779	113.895	227.790	1138.952	2277.904	11389.522	22779.043	113895.216	227790.433	1138952.164	2277904.328
11 h	2.506	12.528	25.057	125.285	250.569	1252.847	2505.695	12528.474	25056.948	125284.738	250569.476	1252847.380	2505694.761
12 h	2.733	13.667	27.335	136.674	273.349	1366.743	2733.485	13667.426	27334.852	136674.260	273348.519	1366742.597	2733485.194
13 h	2.961	14.806	29.613	148.064	296.128	1480.638	2961.276	14806.378	29612.756	148063.781	296127.563	1480637.813	2961275.626
14 h	3.189	15.945	31.891	159.453	318.907	1594.533	3189.066	15945.330	31890.661	159453.303	318906.606	1594533.030	3189066.059
15 h	3.417	17.084	34.169	170.843	341.686	1708.428	3416.856	17084.282	34168.565	170842.825	341685.649	1708428.246	3416856.492
16 h	3.645	18.223	36.446	182.232	364.465	1822.323	3644.647	18223.235	36446.469	182232.346	364464.692	1822323.462	3644646.925
17 h	3.872	19.362	38.724	193.622	387.244	1936.219	3872.437	19362.187	38724.374	193621.868	387243.736	1936218.679	3872437.358
18 h	4.100	20.501	41.002	205.011	410.023	2050.114	4100.228	20501.139	41002.278	205011.390	410022.779	2050113.895	4100227.790
19 h	4.328	21.640	43.280	216.401	432.802	2164.009	4328.018	21640.091	43280.182	216400.911	432801.822	2164009.112	4328018.223
20 h	4.556	22.779	45.558	227.790	455.581	2277.904	4555.809	22779.043	45558.087	227790.433	455580.866	2277904.328	4555808.656
21 h	4.784	23.918	47.836	239.180	478.360	2391.800	4783.599	23917.995	47835.991	239179.954	478359.909	2391799.544	4783599.089
22 h	5.011	25.057	50.114	250.569	501.139	2505.695	5011.390	25056.948	50113.895	250569.476	501138.952	2505694.761	5011389.522
23 h	5.239	26.196	52.392	261.959	523.918	2619.590	5239.180	26195.900	52391.800	261958.998	523917.995	2619589.977	5239179.954
24 h	5.467	27.335	54.670	273.349	546.697	2733.485	5466.970	27334.852	54669.704	273348.519	546697.039	2733485.194	5466970.387
8760 h	1995.444	9977.221	19954.442	62.266	199544.419	997722.096	1995444.191	9977220.957	19954441.913	99772209.567	199544419.134	997722095.672	1995444191.344
	VOLUMEN DE AGUA EN LITROS NECESARIA PARA LA OBTENCIÓN DE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE HIDRÓGENO												

Fuente (Elaboración propia. 2017)