

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE LA
ELECTRÓLISIS DEL AGUA PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
VERDE A NIVEL LABORATORIO**

Por:

KEVIN JOEL CAYO ESTRADA

**Modalidad de graduación INVESTIGACIÓN APLICADA presentado a
consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en
Ingeniería Química.**

Julio 2024

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIAS

El presente “Trabajo de Grado” va dedicado a mis amados padres Rolando y Norma quienes alumbraron mi camino en las noches más oscuras, a mis adorados hermanos Karen y Michael que siempre me llenaron de cariño y comprensión a mi hermosa enamorada Vilma que me ayudo durante toda esta travesía con su compañía y amor, y por supuesto a mis queridos amigos por siempre motivarme.

ÍNDICE
INTRODUCCIÓN

Antecedentes	1
Objetivos	4
Objetivo general	4
Objetivo específico.....	4
Justificación.....	4
Justificación tecnológica	4
Justificación Social.....	5
Justificación ambiental.....	5
Justificación económica	5
Justificación personal	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Producción de Hidrogeno	7
1.1.1. Hidrógeno a partir de combustibles fósiles.....	11
1.1.2. Hidrógeno desde Gas Natural	11
1.1.3. Hidrógeno desde el Carbón.....	12
1.1.4. Hidrógeno a partir de biomasa	13
1.1.5. Gasificación de biomasa	13
1.1.6. Fotobiólisis	14
1.1.7. Hidrógeno a partir de Agua.....	15
1.2. Electrolización del agua para obtener hidrógeno	18

1.2.1.	Condiciones para que ocurra la electrólisis.....	18
1.2.2.	Condiciones para que operen las celdas.....	19
1.2.3.	Potencial estándar y ecuación de Nernst.....	21
1.2.4.	Consideraciones termodinámicas.....	22
1.2.5.	Diagrama de Pourbaix.....	25
1.3.	Tipos de celdas electrolíticas	27
1.3.1.	Alcalina	28
1.3.2.	PEM	30
1.3.3.	AEM.....	32
1.3.4.	Óxido sólido (SOWE).....	34
1.4.	El Hidrogeno	37
1.5.	Propiedades del hidrógeno	38
1.5.1.	Propiedades químicas.....	39
1.5.2.	Propiedades físicas	40
1.5.3.	Contenido energético	41
1.5.4.	Propiedades relacionadas con la seguridad.....	43
1.6.	Medidas de seguridad y almacenaje para el hidrógeno	48
1.6.1.	Medidas de seguridad para su manipulación	48
1.6.2.	Medidas de seguridad para su almacenamiento	54

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1.	Método de investigación y tipo de estudio.....	57
2.2.	Selección de los componentes del electrolizador.....	59

2.2.1. Selección del tipo de celda	59
2.2.2. Selección de electrolito	62
2.2.3. Selección de electrodos	64
2.3. Diseño Experimental	66
2.3.1. Elección de la variable a medir (variable respuesta).....	67
2.3.2. Determinación de variables experimentales.....	67
2.3.3. Diseño Factorial	70
2.4. Descripción del proceso de obtención de hidrogeno a partir de la electrolisis del agua	75
2.4.1. Preparaciones previas (Montaje del equipo)	75
2.4.2. Preparación de solución electrolítica (Mezclado).....	76
2.4.3. Puesta en marcha del experimento	77
2.4.4. Calentador	80
2.4.5. Electrolizador	81
2.4.6. Almacenamiento de gases recolectados	83

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Balance de materia y energía del proceso	85
3.2. Balance de materia	86
3.2.1. Mezclado	87
3.2.2. Calentador	88
3.2.3. Electrolizador	89
3.3. Balance de energía	93
3.3.1. Corriente consumida en la reacción (calculada teóricamente).....	93

3.3.2. Potencia consumida en la reacción	94
3.3.3. Rendimiento de la electrólisis teórico (kg H ₂ /KWh)	94
3.3.4. Potencia suministrada por la fuente de alimentación	94
3.3.5. Rendimiento de la electrólisis práctico (kg H ₂ /KWh).....	95
3.3.6. Eficiencia de la electrólisis.....	95
3.3.7. Energía consumida en electrólisis	96
3.3.8. Energía suministrada en electrólisis.....	96
3.3.9. Energía suministrada para aumentar la temperatura de la solución	96
3.3.10. Energía total	98
3.4. Caracterización de la materia prima.....	98
3.4.1. Agua destilada.....	98
3.4.2. Solución de Hidróxido de potasio.....	98
3.5. Caracterización del gas que contiene hidrogeno	99
3.5.1. Prueba de combustión.	100
3.5.2. Olor.	100
3.5.3. Composición del gas que contiene hidrogeno.....	101
3.5.4. Poder calorífico superior.	101
3.6. Caracterización del gas que contiene oxigeno	102
3.7. Análisis estadístico del diseño experimental.....	102
3.7.1. Análisis de varianza univariante.	103
3.7.2. Determinación del modelo matemático.	105
3.8. Análisis de Costos.....	110
3.8.1. Costos Indirectos.....	110

3.8.2. Costo de producción..... 113

3.8.3. Costo total 114

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones. 115

4.2. Recomendaciones..... 116

BIBLIOGRAFÍA 117

ANEXOS 119