

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Introducción y Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances	2
2. Antecedentes	3
2.1. Antofagasta Minerals (AMSA)	3
2.1.1. Minera los Pelambres (MLP)	3
2.2. Panorama energético	4
2.2.1. Panorama energético nacional	4
2.2.2. Panorama energético MLP	6
2.2.3. Estrategia nacional del Hidrógeno verde	7
2.3. Hidrógeno como vector energético	9
2.4. Camión CAEX	10
2.4.1. Camión CAEX 930E-4	10
2.4.2. Principales componentes CAEX 930E-4	10
2.4.2.1. Motor de tracción eléctrico	10
2.4.2.2. Motor de combustión	11
2.4.2.3. Alternador	12
2.4.3. Camión CAEX eléctrico	12
2.4.4. Camiones CAEX como HFCEV's	14
2.4.4.1. Mina Mogalakwena (Anglo American)	14
2.4.4.2. Grupo Weichai	14
2.4.4.3. CORFO-HYDRA	15
2.4.5. Prefactibilidad técnica y económica	15
2.4.6. Hoja de Ruta	16
2.5. Celdas de combustible	17
2.5.1. Tipos de FC a partir de Hidrógeno	18
2.5.2. Celda de Combustible de Membrada de intercambio protónico (PEMFC)	19
2.5.3. Pilas PEMFC	20
2.5.4. Fabricantes de pilas PEMFC	21
2.5.4.1. Horizon	21
2.5.4.2. Ballard	21
2.5.5. Baterías de Litio	22
2.6. Ciclos de conducción	23

2.7. Niveles de la madurez tecnológica (TRL)	24
3. Ciclo de conducción característico	25
3.1. Ciclo de conducción característico	26
3.2. Perfil de Potencia	29
3.2.1. Cálculo de potencia Instantánea	29
3.2.1.1. Fuerza de resistencia a la rodadura	29
3.2.1.2. Fuerza de resistencia aerodinámica	30
3.2.1.3. Fuerza gravitatoria	30
3.2.1.4. Cálculo de Energía consumida durante el ciclo	30
3.2.2. Resultados	31
4. Dimensionamiento y diseño del sistema PEMFC-Batería	32
4.1. Descripción del sistema	34
4.1.1. Modelado de la pila de PEMFC	35
4.1.2. Modelado de batería	36
4.2. Metodología	37
4.2.1. Problema de optimización	37
4.2.1.1. Optimización externa - Componentes de dimensionamiento de PSO	39
4.2.1.2. Optimización interna: restricción EM	41
4.3. Resultados	43
5. Diseño de Pruebas Piloto	44
5.1. Descripción General	45
5.1.1. Objetivos	45
5.1.2. Alcance	45
5.1.3. Responsabilidades	46
5.1.4. Planificación para pruebas piloto	47
5.1.5. Ubicación y condiciones climáticas	47
5.2. Consideraciones Normativas	48
5.2.1. Documentos	48
5.2.1.1. Equipos	48
5.2.1.2. Pruebas y operación	49
5.2.1.3. Seguridad	49
5.2.1.4. Complementarios	49
5.2.1.5. Estándares informativos	49
5.3. Pruebas para sistema de pila PEMFC	50
5.3.1. Equipos y componentes	50
5.3.1.1. Instrumentos de medición	50
5.3.1.2. Equipos complementarios	50
5.3.1.3. Diagramas de conexión	51
5.3.2. Pruebas de funcionamiento	51
5.3.2.1. Condiciones generales del ensayo	51
5.3.2.2. Módulos de prueba	52
5.3.2.2.1. Estado frío	52
5.3.2.2.2. Estado caliente	52
5.3.2.2.3. Arranque en frío	52

5.3.2.2.4. Arranque en caliente	53
5.3.2.2.5. Potencia nominal	53
5.3.2.2.6. Potencia máxima	53
5.3.2.2.7. Dinámica	53
5.3.2.2.8. Dinámica de carga	54
5.3.2.2.9. Estado estacionario	54
5.3.2.2.10 Hermeticidad	54
5.3.2.3. Cálculos	54
5.3.2.3.1. Flujo de combustible	54
5.3.2.3.2. Potencia de la pila	55
5.3.2.3.3. Eficiencia de la pila	55
5.3.2.4. Resultados esperados	55
5.3.3. Pruebas de mapeo de rendimiento	56
5.3.3.1. Condiciones generales del ensayo	56
5.3.3.2. Módulos de prueba	56
5.3.3.2.1. Sensibilidad a la humedad	56
5.3.3.2.2. Sensibilidad a la temperatura	57
5.3.3.2.3. Sensibilidad a la presión	57
5.3.3.2.4. Sensibilidad a la estequiometría	57
5.3.3.2.5. Curva de polarización	58
5.3.3.2.6. Voltamperometría	58
5.3.3.2.7. Potenciometría	59
5.3.3.2.8. Espectroscopia de impedancia	60
5.3.3.2.9. Cruce de hidrógeno	61
5.3.3.3. Descripción prueba de mapeo de rendimiento	62
5.3.3.4. Cálculos	62
5.3.3.5. Resultados esperados	63
5.4. Pruebas para sistemas híbrido PEMFC-Batería	64
5.4.1. Equipos y componentes	64
5.4.1.1. Equipos Principales	64
5.4.1.2. Equipos de medición	64
5.4.1.3. Diagrama de conexión	65
5.4.2. Pruebas de funcionamiento	65
5.4.2.1. Condiciones generales del ensayo	65
5.4.2.2. Descripción de prueba	65
6. Resultados	66
7. Conclusiones	67
7.1. Trabajo propuesto	67
Bibliografía	68
ANEXOS	70
A. Hoja técnica Komatsu 930E-4	71
B. Hoja técnica Ballard's FCmove™-HD 70kW	76

