

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
1.1.1 Objetivo general.....	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
2. ALCANCES.....	4
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. Proceso de obtención de cobre a partir de minerales oxidados	5
3.1.1. Procesamiento de los elementos metálicos por hidrometalurgia	5
3.1.2 Consumo energético de la minería	10
3.1.3 Metodología para el cálculo de energía en los procesos y faenas	12
3.2. Propuesta de tecnología para la obtención de H ₂ verde	13
3.2.1. Descripción de los sistemas de obtención de H ₂ verde.....	14
3.2.2 Almacenamiento y transporte de H ₂ verde.....	19
3.2.3 Planta desalinizadora	21
3.2.4 Diseño de planta de hidrógeno	25
3.2.5 Producción de H ₂ verde.....	27
3.2.6 Experiencia nacional	27
3.2.7 Experiencia internacional	29
3.2.8 Normativa legal nacional e internacional del H ₂ verde.....	29
3.3 Sistema de Cogeneración (CHP)	32
3.3.1 Funcionamiento de un sistema CHP	32
3.3.2 Cogeneración en el mundo.....	35
3.4 Propuestas metodológicas para evaluar el impacto ambiental.....	37
3.4.1. Huella de carbono	37

3.4.2. Metodología de medición de emisiones	39
3.3.3 Normativas ISO	40
4. METODOLOGÍA	41
4.1 Antecedentes generales de la obtención de cátodos de cobre.....	41
4.1.1 Selección de proceso a evaluar.....	41
4.1.1.1 Trituración y Molienda.....	42
4.1.1.2 Lixiviación, extracción por solventes y electroobtención.....	45
4.1.2. Consumo de energía eléctrica en los procesos de obtención	47
4.2. Evaluación de la huella de carbono.....	48
4.2.1 Emisiones de la fuente actual de energía.	49
4.2.2 Emisiones en planta CHP a partir de hidrógeno verde	49
4.3 Comparación del impacto ambiental producido por fuentes energéticas actuales frente a la cogeneración	51
4.3.1 Comparación de emisiones.....	51
5. RESULTADOS.....	52
5.1 Equipos y consumos energéticos de los procesos de Trituración – Molienda y Clasificación.....	52
5.2 Equipos y consumos energéticos de los procesos de LX-SX-EW	54
5.3 Huella de carbono de sistemas de generación de energía en procesos actuales.	57
5.3.1 La evolución de la huella de carbono de sistemas de energía.	57
5.4 Huella de carbono para sistema CHP	59
5.5 Comparación y análisis de resultados.....	63
6. CONCLUSIONES	66
7. REFERENCIAS.....	68
8. ANEXOS.....	75

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de un yacimiento del tipo pórfido cuprífero	5
Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de obtención de cátodos de cobre a partir de minerales oxidados	6
Figura 3 Lixiviación en pilas o terrenos preparados	8
Figura 4 Consumo eléctrico esperado (TWh) de la minería del cobre a nivel nacional por procesos, 2020-2031	11
Figura 5 Consumo eléctrico esperado (%) de la minería del cobre a nivel nacional por procesos, 2020 y 2031.....	12
Figura 6 Principio de funcionamiento de la electrólisis	15
Figura 7 Proceso de electrólisis alcalina a partir de agua y energías renovables.....	16
Figura 8 Proceso de electrólisis por método PEM.....	17
Figura 9 Planta de osmosis inversa.....	22
Figura 10 Sistema de captación de agua mediante pozos.	23
Figura 11 Esquema de captación de aguas mar adentro.....	23
Figura 12 Planta de producción de hidrógeno, oxígeno y electricidad en Argentina, Hychico.....	26
Figura 13 Configuración de turbina o motor con unidad de recuperación de calor	33
Figura 14 Configuración Caldera de vapor con turbina.....	34
Figura 15 Obtención de energía eléctrica convencional y mediante pila de combustible	35
Figura 16 Proceso de clasificación por medio de harneros	44
Figura 17 Configuración geométrica de las celdas electrolíticas	47
Figura 18 Celdas de Electroobtención	47
Figura 19 Chancador Primario tipo Giratorio.....	53
Figura 20 Chancador de cono	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento, costo y estado actual de las tecnologías para obtención de hidrógeno verde	18
Tabla 2 Factores de caracterización para la categoría de Calentamiento Global según metodología IPCC 2007 y Ecoindicador 95.....	38
Tabla 3 Indicadores de consumo de energía por proceso o equipo.	56
Tabla 4 Factores de emisión GEI según Sistema Interconectado	58
Tabla 5 Estimación de CO ₂ para el proceso de LX-SX-EW	59
Tabla 6 Resumen de factores de emisión de sistemas CHP a partir de combustibles convencionales	61
Tabla 7 Comparación de emisiones según combustible utilizado en los procesos.	64

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Principales reacciones químicas en EW	10
Ecuación 2 Consumo energético de procesos mineros.....	13
Ecuación 3 Ecuación óxido-reducción para la obtención de H ₂	14
Ecuación 4 Ecuación para cálculo de potencia de planta desalinizadora	24
Ecuación 5 Ecuación para cálculo de potencia para sistema de impulsión de agua	24
Ecuación 6 Ecuación para cálculo de energía eléctrica	25
Ecuación 7 Ecuación de consumo específico de energía por tonelada (kWh/ton)	42
Ecuación 8 Consumo de energía del chancador giratorio primario.....	43
Ecuación 9 Cálculo de emisión de carbono de un sistema CHP, utilizando hidrógeno verde como combustible	50

INDICE DE ANEXOS

ANEXO I.....	75
ANEXO II	76