

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



Business Consulting para Anglo American Quellaveco S.A.

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN
ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO
POR LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
PRESENTADA POR**

Dewi Rossmery Aguilar Caceres, DNI: 40244965

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE EMPRESAS OTORGADO
POR LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
PRESENTADA POR**

Antony Ticse Baquerizo, DNI: 45834582

Douglas Marlon Chávez Molina, DNI: 40329988

Edson Willmer Pariona Arango, DNI: 44591630

ASESOR

Juan Pedro Rodolfo Narro Lavi, DNI: 43332232

ORCID 0000-0002-1805-8484

JURADO

Loza Geldres, Igor Leopoldo

Mariño Del Rosario, Carlos Antonio

Narro Lavi, Juan Pedro Rodolfo

Surco, octubre 2023

Declaración Jurada de Autenticidad

Yo, Juan Pedro Rodolfo Narro Lavi, docente del Departamento Académico de Posgrado en Negocios de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado Business Consulting para Anglo American Quellaveco S.A. de los(as) autores(as):

Antony Ticse Baquerizo, DNI: 45834582

Dewi Rossmery Aguilar Caceres, DNI: 40244965

Douglas Chávez Molina, DNI: 40329988

Edson Willmer Pariona Arango, DNI: 44591630

dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 16%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 30-sep-2023 12:16p.m. (UTC-0500)
- He revisado con detalle dicho reporte y confirmo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio alguno.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 30 de septiembre 2023

Apellidos y nombres del asesor: Narro Lavi, Juan Pedro Rodolfo	
DNI: 43332232	Firma: 
ORCID: 0000-0002-1805-8484	

Agradecimientos

A nuestro asesor Juan Narro, a nuestros profesores en Centrum, a Anglo American Quellaveco por la información brindada en el desarrollo de la presente tesis. En particular a la gerencia comercial, gerencia de procesos, superintendencia de infraestructura y energía, y a personal administrativo y seguridad que mostraron apoyo para la culminación de esta tesis.



Dedicatorias

A Dios, mi compañera, mi madre y padre, mi familia, maestros, amistades, por el soporte y enseñanzas para lograr mis objetivos.

Antony Ticse

A Dios, a la Virgen María por darme la oportunidad, mi esposa e hijos por el apoyo y comprensión y mi madre por darme la vida.

Douglas Chávez

A Dios por permitir mi existencia, a mis padres por su gran apoyo y motivación, a mi esposo por su compañía y soporte en todo sentido, a mis hijos por su paciencia y empatía en todo momento.

Dewi Aguilar

A Dios y la Virgen María por ser nuestra guía, mis padres por ser un apoyo fundamental en mi existencia, mi esposa e hijos por su apoyo incondicional y compartir el camino de la vida a mi lado. A mis amigos y familiares por su aporte en mi vida.

Edson Pariona

Resumen Ejecutivo

Anglo American Quellaveco S.A. está presente en el Perú desde el 1993, entra en operaciones desde 2022, pero la matriz inglesa Anglo American PLC lleva más de un siglo de operaciones a nivel mundial. Anglo American es una mina de tajo abierto cuyos productos son cobre y molibdeno. Busca la excelencia en las operaciones, así como ser considerada la mina 100% digital.

Anglo American PLC como grupo ha tenido importantes hitos, como la implementación del primer camión autónomo con hidrógeno verde en sus operaciones en Sudáfrica. Además de implementar proyecto hacia este nuevo recurso energético en sus operaciones en Chile con hidrógeno verde. La compañía tiene como objetivo ser una empresa sostenible con visión de convertirse en carbono neutral para el año 2040.

Para identificar el problema principal se usó la matriz de afinidad, así como la matriz complejidad vs beneficio. Posteriormente para la solución se usó la metodología de inspección *in situ* y entrevistas para luego procesarlas mediante métodos de diagrama de Ishikawa. Se identificaron principales causas como: la maquinaria está adecuada al uso de Diesel, 70% del consumo de Diesel son de camiones mineros, la planta minera actual no considera producción de energías renovables, la metodología empleada es solo para Diesel. Para solucionar las causas raíces, se realizaron estudios de proyectos afines, análisis normativo, empresas especializadas en el rubro de generación de hidrógeno, propuesta de grupo de alto rendimiento para el proyecto. Finalmente se concluye que la implementación de la planta de producción de hidrógeno verde es factible de realizar en 42 meses, consumirá solo el 0.28% del consumo total de agua de las operaciones y reemplazará al 70% de Diesel de las operaciones, logrando de este modo un hito importante en camino a ser carbono neutral al año 2040.

Abstract

Anglo American Quellaveco S.A. It has been present in Peru since 1993, it has been in operation since 2022, but the English parent Anglo American PLC has been operating worldwide for more than a century. Anglo American is an open pit mine whose products are copper and molybdenum. It seeks excellence in operations, as well as being considered the 100% digital mine.

Anglo American PLC as a group has had important milestones, such as the implementation of the first autonomous truck with green hydrogen in its operations in South Africa. In addition to implementing a project towards this new energy resource in its operations in Chile with green hydrogen. The company aims to be a sustainable company with a vision of becoming carbon neutral by 2040.

To identify the main problem, the affinity matrix was used, as well as the complexity vs. benefit matrix. Subsequently, for the solution, the on-site inspection methodology and interviews were used to later process them using Ishikawa diagram methods. Main causes were identified such as: the machinery is suitable for the use of Diesel, 70% of Diesel consumption is from mining trucks, the current mining plant does not consider renewable energy production, the methodology used is only for Diesel.

To solve the root causes, studies of related projects were carried out, regulatory analysis, companies specialized in the field of hydrogen generation, a proposal for a high-performance group for the project. Finally, it is concluded that the implementation of the green hydrogen production plant is feasible to carry out in 42 months, it will consume only 0.28% of the total water consumption of the operations and will replace 70% of Diesel in the operations, thus achieving an important milestone on the way to being carbon neutral by 2040.

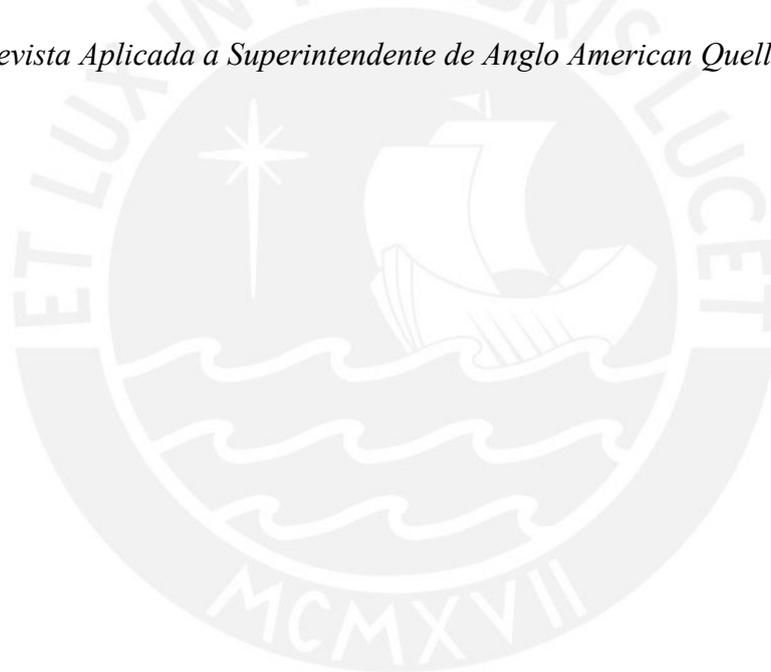
Tabla de Contenidos

Lista de Tablas	xi
Lista de Figuras	xii
Capítulo I: Situación General de Anglo American	1
1.1 Presentación de la Empresa	1
1.2. Modelo de Negocio	2
1.2.1. Segmentos del Mercado	4
1.2.2. Propuestas de Valor	4
1.2.3. Canales	4
1.2.4. Relaciones con Clientes	5
1.2.5. Fuentes de Ingresos	5
1.2.6. Recursos Claves	5
1.2.7. Actividades Claves	5
1.2.8. Asociaciones Claves	7
1.2.9. Estructura de Costes	7
1.3. Análisis del Sector Industrial	7
1.3.1. Poder de Negociación de los Compradores	7
1.3.2. Poder de Negociación de los Proveedores	8
1.3.3. Amenaza de Sustitutos	8
1.3.4. Amenaza de los Entrantes	9
1.3.5. Rivalidad de los Competidores	9
1.4. Análisis del Contexto Externo de la Empresa (Oportunidades y amenazas)	10
1.4.1. Oportunidades	10
1.4.2. Amenazas	10
1.5. Análisis del Contexto Interno de la Empresa (Fortalezas y debilidades)	11

1.5.1. Fortalezas	11
1.5.2. Debilidades	12
Capítulo II: Diagnóstico Empresarial y Problema Principal	13
2.1. Metodología de Trabajo	13
2.2. Lista de Problemas	13
2.2.1. Matriz de Afinidad	14
2.2.2. Gestión de Personal	16
2.2.3. Dependencia Del Diesel	18
2.2.4. Político Legal	19
2.2.5. Gestión Logística y Operaciones	19
2.2.6. Seguridad Industrial	20
2.2.7. RSE (Responsabilidad Social Empresarial)	20
2.3. Matriz de Complejidad versus Beneficio	21
2.4. Problema Principal	22
Capítulo III: Determinación de Causas del Problema Principal	24
3.1. Causas Identificadas	24
3.1.1. Método	24
3.1.2. Maquinaria	25
3.1.3. Mano de Obra	25
3.1.4. Materiales	26
3.1.5. Medición	26
3.1.6. Medio Ambiente	26
3.2. Matriz Priorización Causa-Raíz	27
3.2.1. Factibilidad	27
3.2.2. Beneficio	27

3.2.3. Resultado	27
3.3. Conclusión	28
Capítulo IV: Alternativa de Solución	29
4.1. Alternativas de Solución Identificadas	29
4.1.1. Adaptar camiones actuales a celdas de combustión	29
4.1.2. Implementar planta de energía renovable para abastecer camiones mineros	30
4.1.3. Implementar Indicador de Logro de Meta Cero Emisiones CO2	32
4.2. Evaluación de las Alternativas de Solución	33
4.2.1. Tiempo	33
4.2.2. Impacto Directo	34
4.2.3. Valor Agregado	34
4.2.4. Eficacia	34
4.3. Solución Propuesta	35
Capítulo V: Plan de Implementación y Factores Clave de Éxito	37
5.1. Definiciones Claves	37
5.1.1. Actividades de Coordinación	37
5.1.2. Implementación de Planta de Hidrógeno	38
5.1.3. Adecuación de Camiones Mineros	40
5.1.4. Operación	41
5.2. Balanced Scorecard	41
5.3. Plan de Implementación (Gantt) y Presupuesto	42
5.4. Factores Clave de Éxito	54
5.4.1. Habilitadores	54
5.4.2. Riesgos	55
Capítulo VI: Resultados Esperados	56

6.1. Resultados Esperados del Plan de Implementación	56
6.2. Recuperación de la Inversión	56
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones	60
7.1. Conclusiones	60
7.2. Recomendaciones	62
Referencias	64
Apéndices	69
Apéndice A: Entrevista a Personal Anglo American	69
<i>A1: Entrevista Aplicada a Gerente de Anglo American Quellaveco S.A.</i>	69
<i>A2: Entrevista Aplicada a Superintendente de Anglo American Quellaveco S.A.</i>	72



Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Empresas Mineras en Operación en Perú, 2020</i>	9
Tabla 2 <i>Matriz de Complejidad Versus Beneficio</i>	22
Tabla 3 <i>Matriz Priorización Causa-Raíz</i>	28
Tabla 4 <i>Relación de Causas del Problema Principal de Anglo American y las Alternativas de Solución</i>	29
Tabla 5 <i>Calificación del Tiempo para Evaluar las Alternativas de Solución</i>	33
Tabla 6 <i>Calificación del Impacto Directo para Evaluar las Alternativas de Solución</i>	34
Tabla 7 <i>Calificación del Valor Agregado para Evaluar las Alternativas de Solución</i>	34
Tabla 8 <i>Calificación de la Eficacia para Evaluar las Alternativas de Solución</i>	35
Tabla 9 <i>Evaluación de las Alternativas de Solución al Problema de Dependencia de Diesel en Energía</i>	35
Tabla 10 <i>Balanced Scorecard</i>	42
Tabla 11 <i>Diagrama Gantt del Plan de Implementación</i>	43
Tabla 12 <i>Costos de Planta FV - CAPEX</i>	47
Tabla 13 <i>Costos OPEX Planta FV</i>	48
Tabla 14 <i>CAPEX Planta de Hidrógeno</i>	49
Tabla 15 <i>CAPEX Reposición de Electrodo</i>	49
Tabla 16 <i>Consumo Anual de Energía de Electrolizador</i>	50
Tabla 17 <i>OPEX Fijo y Variable de Planta de Hidrógeno</i>	51
Tabla 18 <i>Costos y Especificaciones de PEMFC y Batería Ion-Litio</i>	53
Tabla 19 <i>Presupuesto para el Plan de Implementación de AAQ</i>	54
Tabla 20 <i>Flujo de Caja Sin Incentivo AAQ</i>	57
Tabla 21 <i>Elementos para Tasa de Descuento</i>	58
Tabla 22 <i>Indicadores Financieros Escenarios</i>	59

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Modelo de Negocio para Anglo American Quellaveco S.A.</i>	3
Figura 2 <i>Organigrama Anglo American Quellaveco S.A.</i>	6
Figura 3 <i>Matriz de Afinidad - Problemáticas para cumplir su objetivo de cero emisiones para el año 2040.</i>	15
Figura 4 <i>Diagrama de Ishikawa - Problemática AAQ</i>	24
Figura 5 <i>Modelo de Planta de Hidrógeno mediante Electrólisis</i>	32
Figura 6 <i>Áreas de Unidad Minera</i>	39
Figura 7 <i>Distribución de Equipos para Adecuación Minera</i>	40
Figura 8 <i>Implementación en Camión Minero Sudáfrica</i>	41
Figura 9 <i>Costo Nivelado de Hidrógeno al 2030</i>	45
Figura 10 <i>Área de Localización de Planta FV</i>	47
Figura 11 <i>Modos de Funcionamiento FCEV</i>	52
Figura 12 <i>Componentes del Tren de Fuerza Komatsu 930E, con tasas de eficiencia</i>	52

Capítulo I: Situación General de Anglo American

El presente capítulo expone la historia y la situación actual de la empresa Anglo American Quellaveco S.A. (AAQ) dentro del grupo Anglo American PLC, su modelo de negocio, y análisis interno y externo, esto a fin de tener la base para la consultoría.

1.1 Presentación de la Empresa

Anglo American Quellaveco S.A. (AAQ) pertenece al grupo de Anglo American PLC con sede en Londres, fue fundado en 1917 con inversiones tanto americanas como británicas, es una compañía global con inversiones en explotaciones mineras en diferentes países en todos los continentes participando en la extracción de carbón, diamantes, mineral de hierro (o metales ferrosos e industrias), platino y cobre.

Anglo American el año 1992 obtuvo la concesión del yacimiento cuprífero de Quellaveco, antes perteneciente a la estatal Minero Perú. Ya por el año 1995 se compran terrenos a la comunidad para desarrollar el proyecto. En el año 2000 se aprueba el Estudio de Impacto Ambiental (EIA). El EIA tuvo cambios en 2010, 2012 y 2015, por ejemplo, se deja de usar el agua subterránea y pasar a superficial, aumento de capacidad de represa Vizcachas, además de la ruta de transporte de concentrados hasta el puerto de Matarani y aumento de capacidad de producción. El 2012 Mitsubishi adquiere 18.1% de participación accionaria de Quellaveco, el 2018 aumenta a 40%. En julio de 2018 se aprueba la ejecución del proyecto.

Actualmente uno de los cinco yacimientos de cobre más grandes del mundo con 7.6 millones de toneladas métricas en reservas. El proyecto está localizado en el departamento de Moquegua, al sur del Perú. Es actualmente la mayor inversión minera en el Perú con una inversión de \$5,300 millones. Con una producción anual de 300,000 toneladas métricas de cobre durante los primeros 10 años, Quellaveco ingresa al top 15 de las principales minas del mundo (Perú Anglo American, 2022, p.1).

Quellaveco es una mina a tajo abierto y con proceso de flotación para producir concentrados de cobre, así como molibdeno. Como las otras operaciones de Anglo American en el mundo, funcionará como mina digital, automatizada, capaz de producir una mayor cantidad de datos y realizar un mejor análisis para reducir incertidumbres. Así se conceptualiza toda la cadena de valor de la minería para mejorar la vida de las personas (Perú Anglo American, 2022, p.1).

La puesta en marcha del proyecto Quellaveco fue en el mes de junio 2022, aportará 0.4% del PBI peruano en su primer año y en los siguientes años aportaría 0.9% del PBI. Durante la etapa de construcción ha generado 10,000 puestos de trabajo y en la etapa de operación generará 2,500 puestos de trabajo de manera directa, adicionalmente está el canon minero y los 1,000 millones de soles en obras sociales, lo cual mejorará la calidad de vida, bienestar e infraestructura y desarrollo de la población de la región Moquegua (García, 2018). En septiembre del 2022, el ministerio de Energía y Minas otorgó la autorización para el funcionamiento de las instalaciones mineras y comercializar la producción de cobre en el mundo.

1.2. Modelo de Negocio

Anglo American Quellaveco S.A. tiene una gran capacidad de negociación y manejo tanto de costos como de precios a sus clientes, por ello que basado en este modelo de negocio se aplicará el *business model canvas* propuesto por Osterwalder y Pigneur (2011), en el los autores definieron “Que la mejor manera de describir un modelo de negocio es dividirlo en nueve módulos básicos que reflejen la lógica que sigue una empresa para conseguir ingresos. Estos nueve módulos cubren las cuatro áreas principales de un negocio: clientes, oferta, infraestructura y viabilidad económica”. Y estos nueve módulos se muestran en la Figura 1.

Figura 1

Modelo de Negocio para Anglo American Quellaveco S.A.

Socios clave	Actividades clave	Propuestas de valor	Relación con clientes	Clientes
<p>a. Al estado mediante el Ministerio de Energía y Minas como ente regulador del sector económico.</p> <p>b. también se ha de considerar a las comunidades que participan dentro del proceso como parte involucrada en el cuidado del medioambiente así como el desarrollo socioeconómico de su población</p>	<p>a.Explotación del mineral mediante un modelo de explotación denominada a tajo abierto</p>	<p>Al ofrecer un concentrado del mineral no hay mayor valor que el de un producto de calidad al contar con el respaldo de una de las corporaciones mineras más grandes del mundo; sin embargo la empresa tiene la necesidad de fortalecer otros aspectos para mejorar su competitividad frente a otros, es aquí donde entra a tallar la responsabilidad social</p>	<p>a. Reunión de coordinación sobre la forma de entrega, tiempos y puntos de entrega del bien.</p> <p>b.El medio de contacto es por correos y Chat de página web</p>	<p>Por tipo de actividad</p> <p>a.Explotación y venta de Cobre</p> <p>b. Explotación y Venta de Molibdeno</p>
	<p>Recursos clave</p> <p>a.Su principal recurso es tener el quinto yacimiento más grande del mundo en cuanto a Cobre, estableciéndose como volumen de producción aprox. de 300.000 Toneladas métricas anuales durante los 3 primeros años. b.Otro recurso importante es la participación de las comunidades involucradas en el proceso de explotación y procesamiento de los minerales; brindando capacitaciones para que puedan entregar un servicio especializado y formando parte del desarrollo socioeconómico de sus comunidades.</p>		<p>Canales</p> <p>Via Maritima (Barcos en puerto Ilo)</p>	
<p>Estructura de costos</p> <p>a. costos fijos esto debido a que la explotación de los minerales serán de manera constante sin depender de la cantidad de concentrado que se obtiene en el proceso productivo.</p>		<p>Fuente de ingresos</p> <p>Por la venta del concentrado de Cobre y Molibdeno.</p>		

Nota. Adaptado de *Canvas*, por Business Model Foundry AG, 2022. (www.businessmodelgeneration.com/canvas). Licencia Creative Commons.

1.2.1. Segmentos del Mercado

Dado la estructura del negocio de explotación y venta de Cobre y Molibdeno, está basado en la generación de valor en un nicho de mercado, según indicó Ascanio (2017): “Los modelos de negocio orientados a nichos de mercado atienden a segmentos específicos y especializados”. Esto en razón de que la venta del *commoditie* minero se vende a clientes que concentran su procesamiento en grandes cantidades para su venta de un producto final en el mercado global.

1.2.2. Propuestas de Valor

Al ofrecer un concentrado del mineral no hay mayor valor que el de un producto de calidad al contar con el respaldo de una de las corporaciones mineras más grandes del mundo, que se manifiesta en aplicar prácticas y tecnologías innovadoras en operaciones, con esto se obtienen márgenes y rendimientos líderes en la industria; sin embargo la empresa tiene la necesidad de fortalecer otros aspectos en mejora de su competitividad frente a otros, es aquí donde entra a tallar la responsabilidad social que según Marquina (2013): “Aumenta la reputación de la organización y ayuda a fomentar una mayor confianza pública”, así como también “Mejora la competitividad de la organización, incluyendo el acceso al financiamiento y la posición preferencial” (p. 26). Para ello la empresa busca generar un correcto cuidado del medio ambiente, así como un constante diálogo con las comunidades cercanas con el fin de buscar consensos que permitan continuar con el proyecto.

1.2.3. Canales

El canal de distribución del concentrado se da vía marítima, se cuenta con el puerto de Ilo, se ha adecuado el denominado área 5800 dentro del muelle de propiedad de Engie (antes operaba como central de generación de carbón), cuenta con manga de transporte de concentrados, edificio de acopio de concentrados, y cargador de mineral en buques, para el embarque al exterior.

1.2.4. Relaciones con Clientes

La comunicación es constante para dar cumplimiento a los plazos establecidos para la entrega del concentrado.

1.2.5. Fuentes de Ingresos

La generación de ingresos se da básicamente por la venta del concentrado de Cobre y Molibdeno.

1.2.6. Recursos Claves

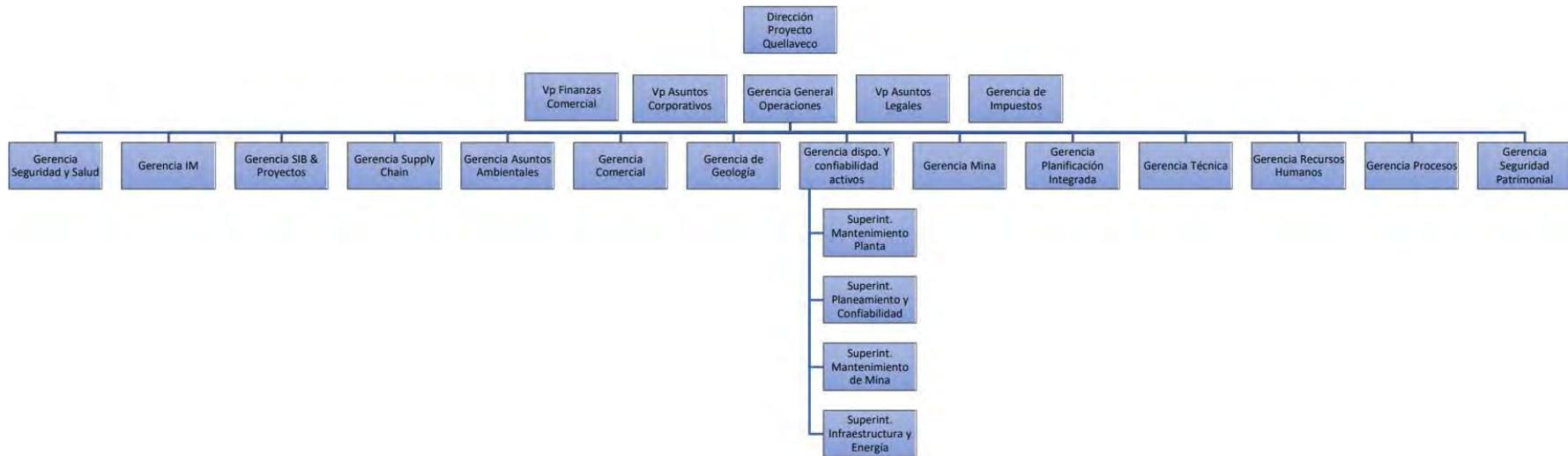
El principal recurso es tener el quinto yacimiento más grande del mundo en cuanto a Cobre, estableciéndose como volumen de producción aprox. de 300,000 toneladas métricas de cobre fino anuales durante los tres primeros años. Otro recurso importante es la participación de las comunidades involucradas en el proceso de explotación y procesamiento de los minerales; brindando capacitaciones para que puedan brindar un servicio especializado y formando parte del desarrollo socioeconómico de sus comunidades. En el mismo sentido, otro recurso es el respaldo económico que cuenta como corporación Anglo American Plc; permitiendo tener el poder de negociación y poder competir con otros ofertantes del mismo *commodity*. El recurso transversal que más valora la empresa es el recurso humano, porque con su capacidad logra los objetivos planteados, Anglo American Quellaveco cuenta con una organización orientada a la cooperación y eficiencia, en la Figura 2 se observa el organigrama de la empresa.

1.2.7. Actividades Claves

La actividad principal es la de la explotación del mineral mediante un modelo de explotación denominada a tajo abierto, según Pantoja (2013) es la “Explotación en superficie que extrae en franjas horizontales llamados bancos, en forma descendente a partir del banco que está en la superficie” (p. 73).

Figura 2

Organigrama Anglo American Quellaveco S.A.



Nota. Adaptado de Entrevista con Gerente Disponibilidad y Confiabilidad, comunicación personal, 16 de marzo 2023.

1.2.8. Asociaciones Claves

Al tener como base productiva la explotación de recursos minerales se considera como asociaciones claves y fundamentales al estado mediante el Ministerio de Energía y Minas como ente regulador del sector minería; también se ha de considerar a las comunidades que participan dentro del proceso como parte involucrada en el cuidado del medioambiente, así como el desarrollo socioeconómico de su población. Otra asociación que vela por el cuidado del medioambiente es la OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental), asimismo está el INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) que tiene como misión la de gestionar la información geológica, administrar derechos mineros y fomentar la investigación e inversión minera.

1.2.9. Estructura de Costes

Está basada en la estructura de costos según valor, mediante costos fijos esto debido a que la explotación de los minerales será de manera constante sin depender de la cantidad de concentrado que se obtiene en el proceso productivo.

1.3. Análisis del Sector Industrial

1.3.1. Poder de Negociación de los Compradores

Los minerales principales que el proyecto Quellaveco producirá serán: cobre y molibdeno. Estos se ofertarán al mercado mundial, los potenciales compradores se regirán por un precio internacional por ser considerados ambos minerales como *commodities*. Al ser la fabricación en gran cantidad, según información del proyecto Quellaveco (2022), 300 mil toneladas métricas anuales será la producción de mineral de cobre. Se espera que las empresas que compren los concentrados de mineral sean refinerías de procedencia China, estadounidense y/o japonés, estos serán despachados a través del puerto de Ilo.

1.3.2. Poder de Negociación de los Proveedores

Se encuentran los proveedores de bienes y servicios, los fabricantes de máquinas, los motorreductores, proveedores de mantenimiento para las diferentes etapas del proceso de mina, repuestos, el agua, la energía eléctrica, entre otros como los proveedores de tableros eléctricos, del sistema SCADA (supervisión y control de datos), las empresas contratistas de servicios básicos como limpieza, alimentación y hospedaje. Con todos ellos se cuenta con contratos y estructura de pago a crédito, además, el respaldo financiero de Quellaveco hace que el poder de negociación de los proveedores sea menor.

1.3.3. Amenaza de Sustitutos

La evaluación de sustitutos de los productos extraídos responde primordialmente al incremento del precio del mineral, de esta manera se evalúa la obtención de productos tales como el Aluminio, Zinc, sin embargo; las propiedades mismas del cobre son por demás superiores.

La innovación tecnológica también juega un rol importante en cuanto a la reducción de costes en el proceso de extracción, es en este punto que se tiene una amenaza a largo plazo del Grafeno, que a la fecha es muy elevada su obtención, pero que tiene mejores propiedades tales como 68% de mejor conductividad que el cobre y con una conductividad térmica diez veces mayor, es así que se viene trabajando una sinergia de estos dos minerales (Cobre y Grafeno) para potenciar las propiedades inherentes al cobre.

A la fecha en el Perú se cuenta con un total de 64 empresas dedicadas a la extracción del cobre, clasificados entre Régimen General y pequeño productor minero, cabe señalar que sólo existen siete empresas mineras a la extracción de ambos minerales (Cobre y Molibdeno), siendo las que se muestran en la Tabla 1.

1.3.4. Amenaza de los Entrantes

El Perú es un país minero, según el portal observatorio (2020), los proyectos de explotación de cobre que están pendientes en entrar en fase de operaciones son: Los Chancas, Michiquillay, Yanacocha sulfuros, Huaquira, La Granja, entre otros más que están aún por definir año de inicio de operaciones. Estos proyectos entrantes junto a las nuevas minas cerca al Perú como las de Chile, que es primer productor en el mundo, muestran posibles causas de migración de personal en la denominada “fuga de talentos”. Otras minas de cobre que cambien el volumen de producción en el mundo, causarían cambios en el precio del mineral, si cae por debajo de los costes de producción, los proyectos no serían rentables, pero a corto y mediano plazo no se avizora ese panorama.

Tabla 1

Empresas Mineras en Operación en Perú, 2020

Titular	Unidad	Región	Provincia	Distrito	Metal
Compañía Minera Antamina S.A.	Huincush	Ancash	Huari	San Marcos	Cobre y Molibdeno
Hudbay Perú S.A.C.	Constancia	Cusco	Chumbivilcas	Velille	Cobre y Molibdeno
Minera Chinalco Perú S.A.	Proyecto Toromocho	Junín	Yauli	Yauli	Cobre y Molibdeno
Minera Las Bambas S.A.	Las Bambas	Apurímac	Cotabambas	Challhuahuacho	Cobre y Molibdeno
Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.	Planta de beneficio Cerro Verde	Arequipa	Arequipa	Yarabamba	Cobre y Molibdeno
Southern Perú Copper Corporation Sucursal del Perú	Concentradora de Botiflaca	Moquegua	Mariscal Nieto	Torata	Cobre y Molibdeno
Southern Perú Copper Corporation Sucursal del Perú	Concentradora de Toquepala	Tacna	Jorge Basadre	Ilabaya	Cobre y Molibdeno

Nota: Tomado de *Ministerio de Energía y Minas (2021)*. Producción minera anual 2011-2020.

1.3.5. Rivalidad de los Competidores

Los competidores mineros locales buscarán contar con personal calificado, además de disponer con los mejores proveedores. Si los competidores aumentan en número, entonces los precios hacia el personal y hacia los bienes y servicios de los proveedores pueden subir. Entre los principales competidores mineros se encuentran las ya consolidadas: Cerro Verde,

Antamina, Las Bambas, Southern, estas empresas juntas el 2018 fueron responsables del 69% del total de producción de cobre en Perú, además pueden contar con mejores gestiones operacionales y por ende tener precios competitivos.

1.4. Análisis del Contexto Externo de la Empresa (Oportunidades y amenazas)

1.4.1. Oportunidades

Las oportunidades identificadas son:

- El Perú es un país con tradición minera donde se encuentran trabajadores de todo nivel desde ejecutivos, profesionales, técnicos y obreros con experiencia minera.
- El Perú es uno de los países con mayor atractivo para la inversión minera porque cuenta con reservas de mineral.
- El Perú como segundo productor mundial de Cobre.
- Relación con inversionistas arriesgados.
- Altos precios de los metales con tendencia elevada estable.
- PBI peruano dependiente de la minería, proyecto de cobre de Quellaveco ayudó a que la recesión peruana no sea crítica.
- Tendencia a mayor uso de cobre por cambio de matriz energética, baterías, hidrógeno.
- Intercambio de experiencia profesional dentro de la corporación.
- Alianzas Estratégicas: En el sector minero internacional las fusiones y adquisiciones se han convertido en una forma de ingresar a nuevos mercados o ampliar la capacidad de negociación.
- Objetivo de cero emisiones con fecha al año 2040.

1.4.2. Amenazas

Las amenazas identificadas son:

- Ocurrencia de accidentes laborales.

- Ocurrencia de incidentes ambientales.
- Incertidumbre sobre los cambios en las políticas del país.
- Crisis social por motivos económicos a causas de inflaciones por pandemia y guerra Rusia-Ucrania.
- Fragilidad en la política de Estado.
- Productos sustitutos.
- Presencia de conflictos sociales. Conflicto en mina Cuajone de Southern Copper Corp. en el año 2022.
- Volatilidad del precio del Cobre, reservas de cobre en Londres en las más bajas históricamente.
- Dependencia del mercado chino como mayor comprador a nivel global.

1.5. Análisis del Contexto Interno de la Empresa (Fortalezas y debilidades)

1.5.1. Fortalezas

Las Fortalezas identificadas son:

- Buena imagen de la empresa a nivel mundial.
- Más de 100 años operando a nivel mundial.
- Proyecto Quellaveco es la mayor inversión minera del Perú.
- La vida útil proyectada de la mina será de 36 años.
- Fuerte énfasis en las políticas de seguridad que beneficien un trabajo seguro.
- Conocimiento básico de la gestión ambiental y adaptación en el nuevo sistema de gestión.
- La empresa es socialmente responsable (Código de Responsabilidad) con orientación a la mejora de la educación y salud en la zona donde se encuentre.
- Cuenta con equipos y tecnología de última generación en sus instalaciones.
- La tecnología de punta utilizada hace posible la explotación económica óptima.

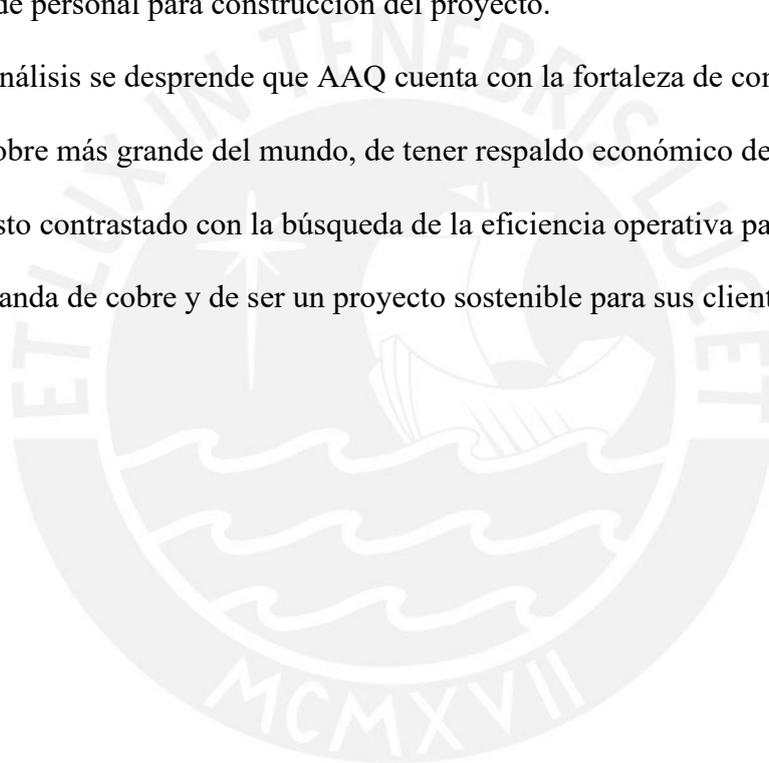
- Una buena gestión con los *stakeholders* o “grupos de interés”.

1.5.2. Debilidades

Las debilidades identificadas son:

- Ocurrencia de accidentes laborales.
- Mezcla de diferentes culturas organizacionales provenientes de diferentes empresas.
- Retrasos en la construcción del proyecto.
- Rotación de personal.
- Falta de personal para construcción del proyecto.

De este análisis se desprende que AAQ cuenta con la fortaleza de contar con el quinto yacimiento de cobre más grande del mundo, de tener respaldo económico de su matriz Anglo American Plc, esto contrastado con la búsqueda de la eficiencia operativa para poder afrontar la creciente demanda de cobre y de ser un proyecto sostenible para sus clientes a través de tecnología.



Capítulo II: Diagnóstico Empresarial y Problema Principal

El presente capítulo muestra el análisis de la empresa en base a la problemática, y se enfoca en la resolución de estos a través del uso de metodologías concretas y probadas que buscan que la organización cumpla con el logro de sus objetivos. Anglo American conoce a donde desea llegar, y con este *Business Consulting* se facilitará ese camino.

2.1. Metodología de Trabajo

Las empresas son sistemas abiertos que deben mantener el equilibrio entre las influencias provenientes del mundo externo y las exigencias y necesidades internas (Evan, 1976). Bajo esta postura evaluaremos problemáticas que se presentan bajo ambas condiciones. Para tal efecto, se considera que los métodos de levantamiento de información deben ser las más precisas y fidedignas por lo que se debe desarrollar los siguientes métodos:

- Observación directa: Bajo este método se realizará el análisis *In Situ*, en las instalaciones de Anglo American Quellaveco; con lo que se busca conseguir información directamente desde la fuente.
- Entrevistas: Se desarrollarán con miembros de la organización que cuentan con la información de primera mano (Ver Apéndice A).

2.2. Lista de Problemas

Con base a conversaciones en las entrevistas acerca de los principales problemas y la observación en campo, se toma anotación de problemas con enfoque en el pensamiento crítico para apertura a las ideas, listándolos inicialmente en orden de su importancia operativa:

- Consumo de más de 57 mil galones de Diesel diarios en operaciones.
- Aproximadamente 50% de los costos operativos de la mina se explica en transporte.
- Autonomía de uso de Diesel de cinco días.
- Dependencia de Diesel en operaciones, camiones y campamento.

- Precio elevado de Diesel para la minera por ser remota.
- Bloqueo de carretera por comunidad paraliza el abastecimiento de Diesel.
- Sistema logístico aún en perfeccionamiento.
- Retrasos en la construcción del proyecto.
- Falta de normativa peruana en uso de hidrógeno verde.
- Desconocimiento del personal medio de como aportar a un proyecto de uso de hidrógeno verde.
- Dependencia de especialistas externos para implementar mejoras.
- Falta de entrenamiento y capacitación específico de personal entrantes.
- Falta de adecuada comunicación entre áreas.
- Cultura organizacional en formación percibida por mandos medios.
- Conflicto social 2019, por supuesto incumplimiento de acuerdos establecidos.
- Alta rotación de personal de actividad primaria.
- Camino accidentado y nublado para el transporte de personal.
- Ocurrencia de accidentes de seguridad.
- Ocurrencia de incidentes ambientales.
- Incertidumbre sobre los cambios en las políticas del país.
- Dependencia del proyecto al precio internacional del cobre.
- Estado peruano con gobiernos inestables.

2.2.1. Matriz de Afinidad

Es una herramienta práctica para organización de información, de tipo visual, se aplica para la organización los temas o ideas en común. Se seguirán los pasos planeados por Rojas (2009), que el equipo adaptó y que consisten en los siguientes puntos:

Paso 1: Definición del Problema. El problema marco fue identificado con la pregunta: ¿Cuáles son las limitaciones actuales de la compañía para cumplir su objetivo de cero emisiones para el año 2040?

Paso 2: Visualización de los Elementos. Se escriben en un panel los problemas, estas deben estar bien identificadas.

Paso 3: Haciendo la Agrupación. El equipo del Business Consulting realiza la agrupación y utiliza palabras clave para cada grupo.

Paso 4: Socializando, momento de discusión. El equipo del Business Consulting filtra por relevancia y afinidad al problema marco.

Paso 5: Colocación de nombre a cada agrupación. El equipo del Business Consulting encuentra seis grupos de temas.

Como se muestra en la Figura 3, la problemática base sirve de marco para dividir en subtemas que se abordan cada uno a continuación.

Figura 3

Matriz de Afinidad - Problemáticas para cumplir su objetivo de cero emisiones para el año 2040.



Nota. Adaptado de *¿Qué es un diagrama de afinidad?*, por Educalink, 2021

(www.educalinkapp.com).

2.2.2. Gestión de Personal

Comprende los siguientes aspectos identificados: falta de adecuado entrenamiento y capacitación a personal entrante. La empresa cuenta con inducción general y conocimiento de áreas de la planta para los nuevos ingresantes, más el plan de capacitaciones no está vigente porque actualmente el ritmo de ejecución del proyecto conduce a contratar a personal con amplia experiencia, ya a cargos menores se debería implementar capacitaciones internas dependiendo del líder de equipo. Con respecto a la falta de adecuada comunicación entre áreas, existen dificultades dentro del proyecto en cuanto a la tarea a realizar en la fase de construcción, debido a que existe mayor parte de trabajadores contratistas que trabajadores directos de Anglo American Quellaveco. Este es uno de los factores por lo cual existen barreras de comunicación generando frecuentemente retrabajo con el consiguiente retraso en las entregas a operaciones de las diferentes áreas.

Otro factor que afecta la comunicación es los distintos regímenes laborales de las diferentes empresas contratistas, pues genera que distintos grupos de trabajadores se crucen de labores y no un solo grupo inicie y termine la tarea en el área de trabajo, pues existen diferentes estilos de liderazgos en los distintos grupos.

Los medios de comunicación en campo son la radio y el teléfono celular y no todas las áreas cuentan con teléfono, por lo que existen barreras físicas de comunicación, o no es instantánea. La inadecuada comunicación entre áreas también causa la rotación de personal en las contratistas, porque los liderados no se sienten parte de la toma de decisiones. Se debe mejorar la gestión de la comunicación ascendente, descendente y al mismo nivel, así también los canales de comunicación.

Con relación a la falta de adecuada comunicación entre áreas, actualmente en la etapa de operación el área de Recursos Humanos iniciará la implementación de la cultura organizacional de Anglo American Quellaveco, lo cual permitirá incrementar la productividad del proyecto, sin embargo, el trabajo de la cultura organizacional tomará varias etapas y dependerá de la actitud y del perfil de cada trabajador. El trabajo del líder de cada unidad de trabajo es el que transmite la cultura de la organización, que va a marcar el ambiente laboral como la personalidad de la empresa. Con relación a la alta rotación, esta se debió en gran parte en época de pandemia del Covid-19 en Perú, ya que coincidió con preparativos de construcción del proyecto.

Con relación al transporte, actualmente el proyecto Quellaveco cuenta con transporte de personal de construcción por vía terrestre con puntos de recojo desde las ciudades de Arequipa, Tacna y Moquegua. En la ruta Arequipa - Mina se tiene una distancia de manejo de 270 Km con un tiempo de manejo de cinco horas aproximadamente con velocidad controlada. La ruta es asfaltada. En la ruta Moquegua - Mina se tiene una distancia de manejo de 56 Km con un tiempo de manejo de 1.5 horas aproximadamente con velocidad controlada. La ruta es asfaltada. En la ruta Tacna - Mina se tiene una distancia de manejo de 210 Km con un tiempo de manejo de 3.5 horas aproximadamente con velocidad controlada. La ruta es asfaltada. En la ruta Ilo - Mina se tiene una distancia de manejo de 144 Km con un tiempo de manejo de 2.5 horas aproximadamente con velocidad controlada. La ruta es asfaltada.

Uno de los problemas del transporte de personal es el riesgo de fatiga que llegan a tener los conductores por las distancias recorridas en climas de temperatura severos. Otro problema son las difíciles condiciones de manejo en tiempos de lluvias pues se genera mucha neblina lo cual dificulta la visibilidad de los conductores.

2.2.3. Dependencia Del Diesel

Comprende aspectos como: consumo elevado de Diesel en operaciones, la operación minera cuenta con una flota de equipos mineros a diésel, entre los que se encuentran los camiones mineros, el cual tiene el mayor consumo de diésel. En total se cuenta con 28 camiones de marca Caterpillar del modelo CAT 794AC con una capacidad de carga útil de 300 toneladas. Los camiones CAT 794AC poseen las siguientes características: Son de mando eléctrico lo que les permite tener un rendimiento probado en varias aplicaciones, acarrea mayor cantidad en cada carga, posee un 8% de más carga útil gracias a su menor peso vacío y un GMW (*Gross Machine Weight*, peso bruto de la máquina) con mayor clasificación, adicionalmente con el nuevo modelo 794AC se cuenta con un 8% más de velocidad en pendiente pudiendo desplazarse a una límite de velocidad de 60Km/h y a un pendiente de 28% con carga (CAT, Camiones para minería 794 AC).

Los problemas con el diésel son los siguientes:

- Alto costo que representa el diésel en la operación de mina, considerando solo el consumo de los camiones mineros el costo por año de diésel puede representar 70 millones de dólares al año.
- Alto precio del diésel debido a conflictos externos como la guerra Rusia y Ucrania.
- Obstáculo para el cumplimiento de la meta corporativa de Anglo American de 100% de operaciones neutras al carbono al año 2040. (Perú Anglo American 2023, La meta de un transporte marítimo neutro en carbono para el 2040).
- Problemas con el transporte del diésel debido a bloqueos de carreteras por conflictos sociales.

En las operaciones en mina de tajo abierto para una gran minería, el costo operativo del transporte representa aproximadamente 40% del total, como mencionó Castillo (2018). Se

considera dentro del costo de transporte, el consumo de combustible y los neumáticos. Para AAQ, el costo operativo del transporte representa el 47%.

Existe una dependencia de especialistas externos de cómo aportar mejoras por ejemplo el uso de hidrógeno verde en operaciones. Operaciones como en Sudáfrica, Brasil o Chile, pueden ayudar a implementar sinergias con personal local e implementar la mejora desde adentro y afuera, así como de afuera a adentro. El empleo de hidrógeno verde, será considerado como logro del objetivo de ser empresa carbono neutral al 2040, es un logro que compete también a Perú, debido a que este cumplirá con el Acuerdo de París frente el cambio climático.

2.2.4. Político Legal

Comprende a la problemática que se percibe que no hay continuidad en las decisiones y apoyo del gobierno. En el año 2018 que se dio luz verde para inicio de operaciones, era presidente Martín Vizcarra que anteriormente había sido gobernador regional de Moquegua y había participado en la mesa de diálogo de Anglo American con la comunidad de Moquegua, siendo este un espaldarazo para el apoyo al proyecto. También comprende la falta de normativa peruana en uso de hidrógeno verde. La empresa cuenta con la normativa comparada de sus operaciones en Chile, Brasil y Sudáfrica, pero estas normativas se deben establecer en Perú, para lo cual se necesita apoyo de grupos legislativos que implementen la normativa. Es un aspecto que está en curso y es inevitable porque es la energía del futuro que ya está presente en Europa y Asia. Al momento se cuenta con un proyecto legislativo que avizora la implementación del uso del hidrógeno verde en Perú (Proyecto de Ley 3272, 2022).

2.2.5. Gestión Logística y Operaciones

Comprende que el sistema logístico aún está en perfeccionamiento, debido a que el proyecto aún continúa en fase de incremento de carga de producción, y hay cambios que

deben adaptarse hasta que el proyecto este estable con la producción y las construcciones listas. Estos retrasos de construcción hacen que el personal operativo esté al tanto de ambas actividades: construcción y producción, ameritan mayor concentración en las operaciones para evitar inconvenientes por errores humanos.

2.2.6. Seguridad Industrial

Comprende la ocurrencia de accidentes, Anglo American cuenta con dos indicadores de seguridad: (a) LTIFR (de sus siglas en inglés *lost time incident frequency rate*, que hace referencia al Índice de frecuencia de lesiones con tiempo perdido) representa la cantidad de lesiones con tiempo perdido que ocurren en un centro de labores por un millón de horas trabajadas, (b) TRCFR (de sus siglas en inglés *total recordable injury frequency rate*, que es índice de frecuencia de lesiones registrables), que se calcula los casos registrales por un millón, dividido entre el total de horas trabajadas. Actualmente existen incidentes de seguridad lo cual no permite el logro del cumplimiento de las metas de seguridad (LTI=1.39, TRI=2.40).

El proyecto se encuentra en la etapa de *Ramp Up* (incremento de carga de producción) hasta alcanzar su máxima capacidad y algunos trabajos de construcción se mantienen por lo que aún se cuenta con personal de la parte de construcción y la probabilidad de accidente se incrementa, debido también a que el área de Construcción está conformada por distintas empresas con contrato de tiempo definido y la rotación de personal es significativa. Este es uno de los factores por lo cual complica tener una cultura de seguridad basada en los valores de Anglo American Quellaveco, la cual está enfocada teniendo la seguridad como principal valor.

2.2.7. RSE (Responsabilidad Social Empresarial)

Comprende la ocurrencia de incidentes ambientales y presencia de conflictos sociales. La RSE debe ser basada en la confianza entre la comunidad y la empresa, el 2019 hubo un

bloqueo de carretera por supuesto incumplimiento de dos de los acuerdos de la mesa de diálogo por parte de Anglo American Quellaveco (AAQ) hacia la comunidad del Valle de Tumilaca. A futuro también se pueden presentar conflictos debido a malas percepciones o al verse azuzada la población por líderes con intereses particulares, otras veces la falta de información oportuna por parte del gobierno o inadecuado manejo por quienes tienen que ejecutar obras en bien de la comunidad. El recurso sensible para la población es el agua y de ello es consciente AAQ para transparentar la comunicación, transparencia que se manifiesta con el acceso a las muestras de calidad del agua por los organismos de gobierno y por inspectores de la comunidad.

2.3. Matriz de Complejidad versus Beneficio

La Matriz de Complejidad versus Beneficios se ha elaborado después de realizadas las entrevistas con personal AAQ, esto con el fin de que se obtenga la información de primera fuente, así mismo también se han realizado trabajo en campo en cuanto a la observación y monitoreo visual de las problemáticas que se encuentran en el espacio de trabajo. Utiliza como insumo la matriz de afinidad lograda anteriormente, se procede luego a discutir las ponderaciones para la identificación de los problemas más críticos que se puedan estar generando dentro de la empresa.

Se debe señalar que el beneficio representa el criterio más importante dentro de este estudio, porque representa el efecto que se genera al solucionar el problema para la empresa, mientras que la complejidad representa cuán difícil es la solución del problema. La sumatoria de todos los valores en beneficios representa a un 100% dentro de la empresa, y los valores de las complejidades se representan con valores que van de uno (Complejo menor), dos (Complejo intermedio) y tres (Complejo Mayor).

Se realizaron los cálculos de las variables “Beneficio * Complejidad” dando como resultado el valor de criticidad para cada problemática que deseamos estudiar, y con ello la

ubicación del principal problema dentro del *Business Consulting* (ver Tabla 2). En el caso de obtener mismos valores de criticidad, se considerará el que tenga mayor beneficio y menos complejidad.

2.4. Problema Principal

En razón de los resultados obtenidos en la Matriz de Complejidad vs Beneficio presentada en la Tabla 2, se identificó como el problema principal que presenta Anglo American Quellaveco S.A., para lograr cumplir su objetivo de cero emisiones para el año 2040 está relacionada con la problemática relacionada a la energía, debido a que tiene la mayor criticidad 0.75, que a su vez comprende el desconocimiento del personal de rango medio de cómo aportar al proyecto de uso de hidrógeno verde, la dependencia de especialistas externos para implementar mejoras, además de dependencia de Diesel en operaciones por falta de alternativa práctica. Como segunda problemática está el aspecto político legal, con criticidad 0.6.

Tabla 2

Matriz de Complejidad Versus Beneficio

Problemática	Beneficio	Complejidad	Criticidad
1. Problemas relacionados a la Gestión de Personal	0.15	1	0.15
2. Problemas relacionados a la Dependencia del Diesel	0.25	3	0.75
3. Problemas relacionados a lo Político Legal	0.2	3	0.6
4. Problemas relacionados a la Gestión Logística y Operaciones	0.1	2	0.2
5. Problemas relacionados a la Seguridad Industrial	0.15	1	0.15
6. Problemas relacionados a la RSE	0.15	2	0.3

Nota. Para la complejidad se usó la siguiente ponderación acordada en las reuniones con los especialistas de cada área involucrada en el *Business Consulting*: 3: complejidad mayor, 2:

complejidad media y 1: complejidad menor. Para el cálculo de la criticidad de cada problema se multiplicó el valor del beneficio por el valor de complejidad.

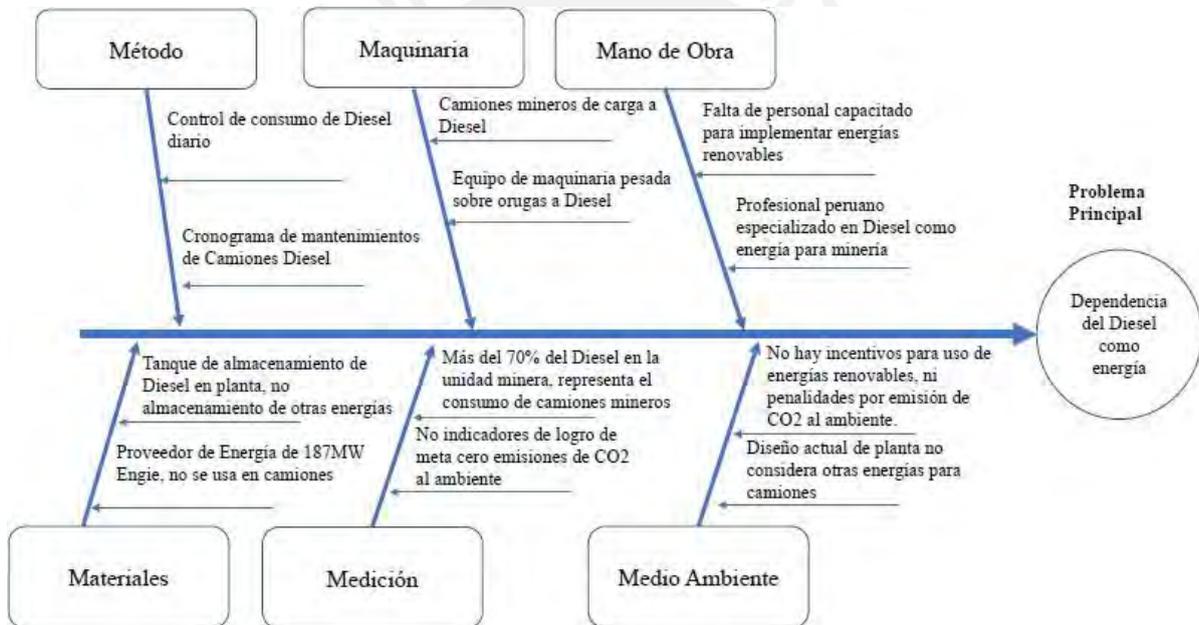


Capítulo III: Determinación de Causas del Problema Principal

En este capítulo se identifica a través del diagrama de Ishikawa, las principales causas de la problemática que tiene la empresa para el logro de su objetivo (ver Figura 4), se han tenido en cuenta la información recolectada, así como entrevista. Se han dividido en seis áreas en consenso con el equipo del *Business Consulting* y que tradicionalmente considera el diagrama de Ishikawa para el rubro de producción. Estas son: (a) método, (b) maquinaria, (c) mano de obra, (d) materiales, (e) medición, y (f) medio ambiente.

Figura 4

Diagrama de Ishikawa - Problemática AAQ



Nota. Adaptado de *Qué es el Diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y Ejemplos*, por J. Rodriguez, 2023, HubSopt (<https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>).

3.1. Causas Identificadas

3.1.1. Método

El método consiste en las acciones a ejecutar el proceso. Las acciones están establecidas para continuar con el uso de Diesel, tal es el caso del control de consumo de

Diesel diario, como plan de compra para no desabastecer a los camiones mineros, cronograma de mantenimientos de camiones mineros a Diesel con todo lo que significa los insumos para camiones mineros como refrigeración del motor, aceites, filtros, entre otros por contar con un sistema combustión a Diesel.

3.1.2. Maquinaria

La maquinaria es el equipo técnico que se requiere en el proceso de mina. Se cuenta principalmente con 28 camiones mineros de carga CAT 794AC, estos son los más relevantes porque representan más del 70% de consumo de Diesel en la operación. Estos camiones llevan la carga desde la perforación hacia el acopia que está al inicio de la faja transportadora que moviliza el material hacia la planta concentradora. Adicional a ello se cuenta con maquinaria pesada sobre orugas, alimentador, equipo perforador, todos a base de combustible Diesel. La planta minera cuenta con abastecimiento de energía por la empresa Engie, acuerdo firmado por 187 MW. Pero adicionalmente se tiene autogeneración eléctrica instalada por 22MW divididas entre las unidades Papujune, Salviani, sistema de bombeo, Quellaveco, y Cortadera.

3.1.3. Mano de Obra

La mano de obra implica las personas involucradas en el proceso minero. El personal peruano está capacitado para uso de la energía que mayormente se usa que es el Diesel. Por consiguiente, el personal especializado en energías renovables es externo a Perú, se tienen experiencias en otras filiales de Anglo American. La energía renovable está en desarrollo, países como Australia, Canadá y China tienen la innovación de uso de energías renovables como el hidrógeno verde. En Sudamérica, Chile es el país que lleva la delantera en el cambio de matriz energética por su potencial de administrar energía renovable, además de ser el primer productor de Cobre a nivel mundial.

3.1.4. Materiales

Cualquier material o accesorio que se una para que el proceso de mina se realice, se cuenta con equipos de almacenamiento de Diesel, no hay equipos para almacenar otro tipo de energías. Se cuenta con energía renovable de Engie por 187MW de su central eólica Punta Lomitas para operaciones, pero estas no pueden ser usadas en el más de 70% de consumo de Diesel que representan los camiones mineros. No existe material actualmente en la unidad que pueda usarse como almacenamiento de energía renovable y no depender del Diesel.

3.1.5. Medición

Referido al control para lograr el proceso, se cuenta con el control de consumo diario de combustible de los camiones. Cada camión consume 3000 litros de Diesel por día, esto es debido a la eficiencia de los camiones y que la etapa de producción aún no es plena, pero la literatura menciona valores de 3600 litros de Diesel por día en Chile. En operaciones de Sudáfrica, los camiones mineros representan el 80% del consumo de Diesel de toda la unidad minera. En Anglo American Quellaveco se cuenta con el indicador de más de 70% de consumo de Diesel por parte de los camiones mineros. Con relación a la emisión de CO₂ al ambiente, existe la meta del logro de cero emisiones al 2040, pero no se mide el porcentaje de emisiones actualmente y en qué porcentaje se va mejorando cada periodo semestral.

3.1.6. Medio Ambiente

Relacionado con el contexto, lugar en donde se lleva a cabo el proceso. Actualmente no hay incentivos para el uso de energías renovables, pero si se plantean estos en los proyectos presentados al congreso del Perú, esto es relevante porque ayudará a disminuir la inversión de capital en proyectos con energías renovables como el hidrógeno verde. También no se cuenta con penalidades por emisiones de CO₂ al ambiente, como si ocurre en Canadá que se pena con USD 35 por tonelada de CO₂ emitida. El diseño de planta actual del área 2000 del proyecto Anglo American Quellaveco no considera zonas para producir energías

renovables, esto es acorde a que el mercado actual no contempla energías renovables para camiones mineros por tema comercial, además; el estudio de factibilidad inicial no contemplaba inversión en energía renovable.

3.2. Matriz Priorización Causa-Raíz

La matriz causa-raíz es el instrumento para recoger las causas del problema principal visible, entre las causas están las inmediatas y posteriormente se llega a la causa raíz que es no visible. Las causas visibles se han identificado por el diagrama de Ishikawa. La matriz de priorización para determinar la mayor causa de incidencia en el problema central (la dependencia del Diesel en la energía). Dicha priorización se muestra luego de la identificación de un orden de importancia basado en los siguientes criterios: (a) factibilidad, (b) beneficio y (c) resultado (ver Tabla 3).

3.2.1. Factibilidad

La factibilidad consiste en la evaluación de viabilidad para que Anglo American Quellaveco resuelva el problema central con las condiciones actuales. La factibilidad se materializa con puntuaciones, en donde la puntuación de uno es la causa de puntuación con solución más compleja, y 19 la causa de solución menos compleja.

3.2.2. Beneficio

El beneficio es el análisis de qué causas ocasionan mayores réditos a la empresa en el cumplimiento de sus objetivos a corto, mediano y largo plazo. Se materializa con puntuaciones, en donde uno es la causa de menores réditos, y 19 la causa de mayores réditos.

3.2.3. Resultado

Con la matriz priorización Causa-Raíz ya elaborada, el resultado es la causa con mejor puntuación, luego de contrastar la factibilidad y beneficio. Esta a su vez, considerará que es la causa central del problema para Anglo American Quellaveco. La tabla realizada es de utilidad para conocer el impacto de las causas y cómo afectan estos a la realización de objetivos de corto, mediano y largo plazo de Anglo American Quellaveco. Esta detalla

características de las gerencias sobre las causas, y a manera práctica, como lo plantea Pareto, serán consideradas las tres causas para la solución del problema central.

Tabla 3

Matriz Priorización Causa-Raíz

Criterio	Causa	Factibilidad	Beneficio	Total
Método	Control de consumo de Diesel diario	19	5	24
Método	Cronograma de mantenimientos de Camiones Diesel	19	5	24
Maquinaria	Camiones mineros de carga a Diesel	13	19	32
Maquinaria	Equipo de maquinaria pesada sobre orugas a Diesel	10	12	22
Mano de Obra	Falta de personal capacitado para implementar energías renovables	14	15	29
Mano de Obra	Profesional peruano especializado en Diesel como energía para minería	14	14	28
Materiales	Tanque de almacenamiento de Diesel en planta, no almacenamiento de otras energías	12	17	29
Materiales	Proveedor de Energía de 187MW Engie, no se usa en camiones	10	14	24
Medición	Más del 70% del Diesel en la unidad minera, representa el consumo de camiones mineros	19	9	28
Medición	No indicadores de logro progresivo de meta cero emisiones de CO2 al ambiente	19	12	31
Medio Ambiente	No hay incentivos para uso de energías renovables, ni penalidades por emisión de CO2 al ambiente.	10	19	29
Medio Ambiente	Diseño actual de planta no considera otras energías para camiones	13	19	32

3.3. Conclusión

De la tabla de priorización de causa raíz, se llega a los criterios que tienen mayor relevancia en la solución del problema principal, se obtienen 12 causas. Por el principio de Pareto, en el cual cualquier situación, el 80% de los efectos son causados por el 20% de las causas, por ello elegimos las principales tres causas, estos son: (a) Camiones mineros de carga a Diesel, (b) Diseño actual de planta no considera otras energías para camiones, y (c) No indicadores de logro progresivo de meta cero emisiones de CO2 al ambiente. Estas son consideradas las que mayor repercusión tendrán al cumplimiento de metas de largo plazo de Anglo American Quellaveco S.A.

Capítulo IV: Alternativa de Solución

En el presente capítulo se tiene como finalidad la solución al problema principal identificado en el capítulo II, que es la dependencia del Diesel como energía, para ello se realizó actividades conjuntas con el personal de AAQ y el equipo del *Business Consulting*, con el objetivo de analizar, valorar y priorizar las alternativas de solución.

4.1. Alternativas de Solución Identificadas

En el capítulo anterior se determinaron las causas del problema identificado para Anglo American Quellaveco S.A. El problema principal es la dependencia del Diesel como energía. En la Tabla 4 se tiene como contenido a las causas seleccionadas del capítulo anterior, y sus alternativas de solución planteadas por el equipo *Business Consulting*.

Tabla 4

Relación de Causas del Problema Principal de Anglo American y las Alternativas de Solución

Nº	Criterio	Causa	Solución Propuesta
1	Maquinaria	Camiones mineros de carga a Diesel	Adaptar camiones actuales a celdas de combustión
2	Medio Ambiente	Diseño actual de planta no considera otras energías para camiones	Implementar planta de energía renovable para abastecer camiones mineros
3	Medición	No indicadores de logro progresivo de meta cero emisiones de CO ₂ al ambiente	Implementar indicador de logro progresivo de meta cero emisiones CO ₂

4.1.1. Adaptar camiones actuales a celdas de combustión

El adaptar los camiones mineros considera el cambio de matriz energética de diesel a otra forma de energía sostenible y que sea producida localmente. Considerando el precio del Diesel de 6.67 dólares por galón (Energiminas, 2022), y el consumo de Diesel de un camión minero es de 3000 litros/día, se tiene que por 28 camiones CAT 974, el costo es de 53 millones de dólares al año mínimamente por el uso dependiente de Diesel. Lo que significa un costo importante para cualquier proyecto que cambie la matriz energética.

Entre las formas que los camiones mineros, como indicó IMetChile (2022), que están emitiendo menos carbono son las siguientes: (a) Rio Tinto, usará baterías eléctricas para su flota de superficie, (b) en Suiza está el camión Komatsu HD 605-7, que fue desarrollado en 2018 como un camión eléctrico de batería completa, (c) en Sudáfrica está el camión Komatsu E930, es desarrollada por Williams Engineering y Anglo American, que combina celdas de combustible hidrógeno y baterías, (d) en China está el camión Weichai, desarrollado en conjunto con CRRC Yongji en China, que tiene celda de batería y celdas de combustible de hidrógeno.

Para analizar las oportunidades del hidrógeno, según H2 Perú (s.f.), primero está la comparación del poder calorífico de la gasolina con el hidrógeno, se refiere a la cantidad de energía que puede desprenderse al producirse la reacción química: la gasolina produce 43 MJ/kg, mientras que el hidrógeno produce 120 MJ/Kg, lo que significa que el H2 posee gran cantidad de energía por unidad de masa. Pero cuando se compara por unidad de volumen, la gasolina produce 32 MJ/L, mientras que el hidrógeno produce 8 MJ/L, lo que representa que es necesario altas presiones al hidrógeno para su uso. Por ejemplo, si se comprime a 700 bar: siete litros de hidrógeno tienen la energía de un Litro de gasolina. Con relación a las oportunidades para Perú, el hidrógeno verde ha sido añadido dentro de las acciones de prioridad en base a Decreto Supremo de Emergencia Climática N 003-2022-MINAM. También, el 12 de octubre del 2022 se presentó al congreso el proyecto de Ley de Promoción al Hidrógeno N3272/2022-CR, que comprende las acciones mínimas para impulsar el hidrógeno verde en 10 artículos.

4.1.2. Implementar planta de energía renovable para abastecer camiones mineros

La implementación de este proyecto ayudará a disminuir la dependencia que tradicionalmente tienen las operaciones mineras remotas. Es relevante el uso de energías renovables para combatir la huella de carbono, ahora bien, la energía renovable creada por

fuerza del viento o por el sol, se almacenan en baterías, pero estas generan un elevado costo logístico de baterías. Para solución de este problema de almacenar energía, existe la alternativa de hidrógeno verde, porque la energía se direcciona a electrolizadores para generar hidrógeno y almacenar en tanques para un futuro uso, entonces, la energía (hidrógeno) ya no se almacena solo en baterías, sino que se almacena en los tanques. Existe también el denominado hidrógeno gris, que para su generación utiliza combustibles fósiles. También existe el hidrógeno azul, que sigue requiriendo combustible fósil, pero emite menos carbono para su generación. El hidrógeno verde se produce a partir de energías renovables, la forma ideal es obtenerlo del agua mediante electrólisis, generalmente es costoso por la necesidad de energía eléctrica para la electrólisis del agua.

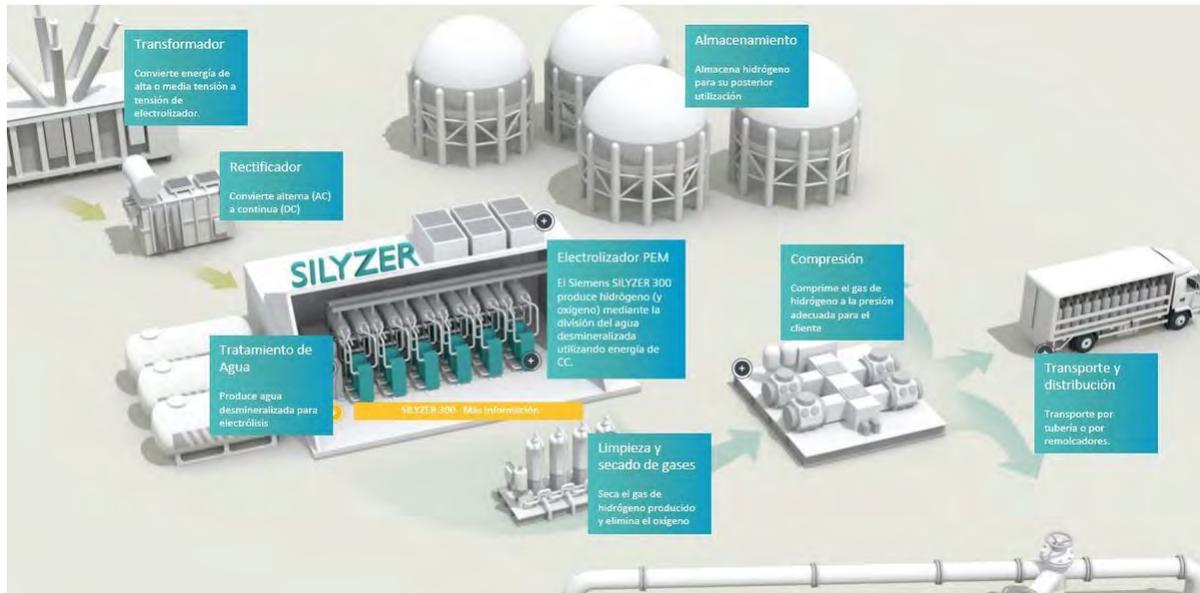
El implementar la planta de energía renovable en Quellaveco para el abastecimiento de hidrógeno en los camiones, va de la mano con el punto anterior, que es adaptar los camiones actuales que consumen Diesel para en su cambio a consumir hidrógeno mediante celdas de combustión. Una planta de hidrógeno verde contempla energía renovable como fuente, además de una electrolizadora, que cumple la función de separar las moléculas de H₂ y O₂, para posteriormente almacenar el hidrógeno en tanque para abastecer a los camiones mineros, este último punto de la planta se denomina hidrogenera, por analogía a las gasolineras que abastecen de gasolina a los vehículos.

Con relación a los electrolizadores, son dos tipos los que marcan la tendencia en el mundo: (a) el tipo alcalino, y el (b) tipo PEM (de membrana protónica). El primero es más barato que el segundo, pero el segundo es más eficiente en condiciones intermitentes de energía eléctrica. Los electrolizadores en general necesitan 53kWh para producir 1Kg de H₂. La eficiencia del tipo PEM es de aproximadamente 60%. Se tiene el caso de un hidrolizador Siemens, modelo Sylizer 300, de tipo PEM, produce 300 kg de H₂ por hora, eficiencia 75%,

energía instalada de 6MW (EPI UC, 2020). En la Figura 5 se muestra un modelo de planta de hidrógeno con uso de electrólisis, con detalle de principales componentes.

Figura 5

Modelo de Planta de Hidrógeno mediante Electrólisis



Nota. Adaptado de *Soluciones de Hidrógeno*, por Siemens, 2023.

(<https://new.siemens.com/content/dam/internet/siemens-com/global/products-services/energy/renewable-energy/hydrogen-solutions/silyzer/>), Electrólisis Siemens.

En líneas generales, se implementará la planta productora de energía renovable y además, se adaptarán los camiones actuales para que puedan usar el hidrógeno como energía. Se cuenta con especialistas en ingeniería tanto en motores de pila de combustible, así como en desarrollo de producción de hidrógeno en minería como es el caso de la empresa *First Mode*.

4.1.3. Implementar Indicador de Logro de Meta Cero Emisiones CO₂

El indicador de cuánto emite la unidad minera AAQ actualmente y cuánto es el logro hacia cero emisiones es relevante para cumplir el objetivo de llegar al 2040 con cero emisiones de CO₂. El estudio de los camiones mineros, por ejemplo, en Sudáfrica, antes del cambio a hidrógeno verde usaba más de 3000 litros de Diesel al día, generando 8 toneladas

de CO2. Además, estos camiones representan más del 70% del consumo de Diesel del sitio (Engie, 2022). Contar con el indicador, llevará a controlar y ejecutar acciones, tener logros tangibles de la implementación de la solución propuesta y de otras opciones de mejora que se puedan dar en el tiempo de vida de la mina. Se medirá en zona de mina las emisiones provenientes del uso del Diesel en procesos, así como emisiones por uso de electricidad. La medición y análisis a cargo de gestión ambiental, y las acciones a cargo de operaciones.

4.2. Evaluación de las Alternativas de Solución

El equipo del *Business Consulting* en base a la verificación en planta, entrevista y experiencia, entiende la problemática y contrasta la alternativa de solución con las fortalezas y oportunidades de AAQ, además de considerar si es posible realizarlo, en el tiempo, y que cumpla los resultados esperados. Para ello plantea las siguientes alternativas de solución: (a) Adaptar camiones actuales a celdas de combustión, (b) Implementar planta de energía renovable para abastecer camiones mineros, e (c) Implementar indicador de logro de meta cero emisiones CO2. Se ha tenido en consideración los siguientes criterios para la evaluación de las alternativas de solución: tiempo, impacto directo, valor agregado y eficacia, los mismos que se desarrollan a continuación.

4.2.1. Tiempo

Con este criterio del tiempo, se estima la duración que tomará la implementación de la alternativa de solución. Para la calificación se ha considerado que, a menor puntaje, entonces tomará más tiempo en aplicarse, por consiguiente, los resultados de la empresa son menores (ver Tabla 5).

Tabla 5

Calificación del Tiempo para Evaluar las Alternativas de Solución

Calificación	Descripción
5	Corto plazo: hasta 24 meses
3	Mediano plazo: hasta 48 meses
1	Largo plazo: más de 48 meses

4.2.2. Impacto Directo

Con este criterio del Impacto, se estima la mejora que tendrá la implementación de la alternativa de solución en el problema de dependencia de Diesel como energía. Para la calificación se ha considerado que, a mayor puntaje, entonces generará mayor impacto esta solución (ver Tabla 6).

Tabla 6

Calificación del Impacto Directo para Evaluar las Alternativas de Solución

Calificación	Descripción
5	Impacto directo en dependencia del Diesel
3	Impacto medio en dependencia del Diesel
1	Impacto bajo en dependencia del Diesel

4.2.3. Valor Agregado

Con este criterio del Valor agregado, se considera la diferenciación que genera la implementación de la alternativa de solución en el problema de dependencia de Diesel como energía, también considera la rentabilidad como elemento decisivo. Para la calificación se ha considerado que, a mayor puntaje, entonces generará mayor valor agregado esta solución (ver Tabla 7).

Tabla 7

Calificación del Valor Agregado para Evaluar las Alternativas de Solución

Calificación	Descripción
5	Diferenciación alta en dependencia del Diesel
3	Diferenciación medio en dependencia del Diesel
1	Diferenciación baja en dependencia del Diesel

4.2.4. Eficacia

Con este criterio de eficacia, se considera si la alternativa de solución solucionará el total del problema de dependencia de Diesel como energía, no solamente parte de ella. Para la

calificación se ha considerado que, a mayor puntaje, entonces generará mayor eficacia esta solución (ver Tabla 8).

Tabla 8

Calificación de la Eficacia para Evaluar las Alternativas de Solución

Calificación	Descripción
5	Excelente nivel de eficacia
3	Mediano nivel de eficacia
1	Bajo nivel de eficacia

En la Tabla 9 se muestran las evaluaciones de las alternativas de solución planteadas en contraste con los criterios antes mencionados como: (a) tiempo, (b) impacto, (c) valor agregado, y (d) eficacia. Para ello se tomaron en cuenta la opinión del equipo del *Business Consulting* con personal de Anglo American Quellaveco S.A.

Tabla 9

Evaluación de las Alternativas de Solución al Problema de Dependencia de Diesel en Energía

Criterio	Ponderación (%)	Adaptar camiones actuales a celdas de combustión	Implementar planta de energía renovable para abastecer camiones mineros	Implementar indicador de logro de meta cero emisiones CO2
Tiempo	15	3	3	5
Impacto	35	5	5	3
Valor agregado	25	5	5	1
Eficacia	25	5	5	1
	100	4.7	4.7	2.3

4.3. Solución Propuesta

Luego de culminado la evaluación de alternativas de solución al problema de dependencia de Diesel como energía, se llega a la conclusión que es el adaptar los camiones mineros actuales para que usen hidrógeno como energía, junto con la implementación de la planta de energía renovable (hidrógeno) para abastecer tales camiones, tienen igual puntuación final y además que se complementan. Con el objetivo de implementar esta solución, se deberá contar con dos etapas: (a) primero el de establecimiento de

coordinaciones para cumplir el proyecto, (b) segundo la proyección esperada financiera de implementación del proyecto.



Capítulo V: Plan de Implementación y Factores Clave de Éxito

Del capítulo anterior se cuenta con la alternativa de solución para el problema principal de dependencia de Diesel como energía. Esta propuesta es la implementación del proyecto económico de aplicación de uso de hidrógeno verde en camiones mineros. Para el logro de la implementación de esta alternativa, se cuenta con el cumplimiento de estos pasos: (a) Definiciones claves, (b) *Balanced Scorecard* que mide mediante indicadores el alcance de objetivos, (c) plan de implementación (Gantt) y Presupuesto, y (d) Factores clave de éxito (habilitadores y riesgos).

5.1. Definiciones Claves

Para la implementación de la solución se establecen las siguientes actividades: (a) actividades de coordinación, (b) implementación de planta de hidrógeno, (c) adecuación de camiones mineros, y (d) operación. Se muestran a continuación el detalle de cada punto:

5.1.1. Actividades de Coordinación

Se debe establecer la comunicación directa entre el equipo de alto rendimiento (EAR) con la Gerencia General a fin de delegar responsabilidades, la conformación del EAR puede modificarse a fin de ser el nexo entre las áreas estratégicas para la ejecución del proyecto. Se comunican los objetivos presentados en las cuatro áreas del *balanced scorecard*, posteriormente se solicitará la aprobación de recursos económicos a los socios. El compromiso del Gerente de ASR (de sus siglas en inglés, *availability safety reliability*, que significa: disponibilidad y confiabilidad de activos) es relevante para transmitir la importancia del proyecto a todas las áreas operacionales.

La formación de un equipo de alto rendimiento (EAR) tiene un proceso, es necesario este equipo para lograr objetivos con alto nivel de eficiencia y cooperación. Los miembros de un EAR tienen ciertas características: (a) roles específicos, (b) habilidades complementarias, (c) comprometidos a un ideal común. El lugar de líder dentro de los EAR tiende a rotar de

acuerdo a la adecuación de la capacidad del integrante a cada circunstancia. Por lo general los EAR son de pocos miembros y de diversas capacidades para que se complementen. En Anglo American Quellaveco S.A. se buscará la formación de un equipo especializado de cuatro personas que responda a la exigencia de lograr la implementación del proyecto, pertenecerán a distintas áreas, se propone: (a) asuntos ambientales, (b) confiabilidad de activos, (c) legales, (d) mina.

Como parte de los trámites, se iniciará con la solicitud de aprobación de la autoridad de la energía en Perú para tener una fuente auto generadora de energía en base a hidrógeno verde. Además, se solicitará la modificación al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para su aprobación y se planteará reuniones con las autoridades locales a fin de transparentar los beneficios para la comunidad y el país del uso de hidrógeno verde como combustible. Se cuenta con la experiencia de presentar proyectos especiales en base a normativa internacional de uso de hidrógeno verde como combustible a la autoridad, como ocurrió en Chile. Con relación a la modificación de EIA solo se modificará el uso de un área para la planta generadora de hidrógeno, con relación al agua este se mantendrá con el uso de 700 L/s para la fase de producción. Recordar que el EIA ya contempla la presa Vizcacha de 60 millones de m³ y de uso solo 4 millones de m³ (Anglo American, 2023), adicional a ello, como mencionó Ignacio Pérez (IMetChile, 2022) el 1% del agua que consume una operación minera, puede reemplazar el 100% del Diesel que consume toda la operación. A lo largo de la ejecución del proyecto, se consideran reuniones bimestrales para el control de logros de objetivos y reajuste de actividades.

5.1.2. Implementación de Planta de Hidrógeno

Esta parte se prepara la zona donde estarán los equipos de paneles fotovoltaicos, zona de electrolizador y tanques de almacenamiento de hidrógeno, así como zona de abastecimiento de hidrógeno verde. Se aprovechará el potencial que tiene Moquegua en

cuanto a nivel de radiación solar de cerca de 6.5 kilovatios hora por metro cuadrado (kWh/m²), que es considerado generación de clase mundial (Proyecto de Ley N° 4374, 2022). Se establecerá la planta de hidrógeno en área denominada Área 2000 (ver Figura 6). El requerimiento de agua usado por los electrolizadores es típicamente de 9 litros de agua desmineralizada por kilogramo de H₂ (Rodriguez, 2021). Para la división de zonas, se tiene en consideración la implementación del proyecto de camión minero en Anglo American Sudáfrica, mina de platino Mogalakwena (ver Figura 7). Se coordina con el proveedor para la instalación de malla de puesta a tierra, losa de base de equipos. Además, se ejecutan obras de conexiones eléctricas, hidráulicas y aire comprimido. Dentro de conexiones asociadas están la iluminación y tuberías. Se instalan los tanques de hidrógeno que tendrían disposición vertical para ahorro de espacio.

Figura 6

Áreas de Unidad Minera



Nota. Tomado de “Quellaveco: Conoce Nuestra Unidad Minera en Moquegua”, 2023 (<https://peru.angloamerican.com/quellaveco/el-proyecto.aspx>), Web Anglo American.

Figura 7

Distribución de Equipos para Adecuación Minera



Nota. Tomado de “Potencial de energías renovables y aplicación de hidrógeno verde en minería”, por IMetChile, 2022 (https://www.youtube.com/watch?v=A_AfvBp-Uus).

En esta etapa también se considera el proceso de contratación con especialistas fabricantes de equipos e instalación. Se concretan órdenes de compra, el proveedor procede a la fabricación de los equipos, este es el período de mayor tiempo, se estima 28 meses. Tener en cuenta, como mencionó Pérez en IMetChile (2022), que un electrolizador de 2MW demora 18 meses en entregar, además que ha crecido la demanda por electrolizadores. Luego de culminada la fabricación de equipos, se procede a la instalación de los mismos en la unidad minera y posteriormente el comisionamiento.

5.1.3. Adecuación de Camiones Mineros

Los camiones mineros (28 en total) se adecuarán con motores eléctricos con una tecnología híbrida en paralelo: celda de combustible H2 Verde y batería ion-litio, también contarán con sistema de compresión de hidrógeno. Se tendrá en referencia el diseño de camión en Sudáfrica (ver Figura 8). Se tiene en consideración que los camiones mineros actuales son de propiedad de Anglo American Quellaveco, por lo cual no se consideraran sobrecostos en adquirir nuevas unidades, sino solo la adecuación de la matriz energética de Diesel a Hidrógeno. Se tienen mayores detalles en la parte de implementación.

Figura 8

Implementación en Camión Minero Sudáfrica



Nota. Tomado de “Potencial de energías renovables y aplicación de hidrógeno verde en minería”, por IMetChile, 2022 (https://www.youtube.com/watch?v=A_AfvBp-Uus).

5.1.4. Operación

Esta etapa comprende las pruebas de puesta en marcha, control y cierre del proyecto, la capacitación a operadores de camiones mineros con H₂ verde, la elaboración de protocolos de carga de combustible, procedimiento de operación, mantenimiento menor, manual de seguridad, capacitación en paradas de emergencia. Es una fase de aprendizaje y busca optimizar el uso de energía y agua, además de generar capacidades a nivel local para no depender del fabricante.

5.2. Balanced Scorecard

Término inglés que se refiere a un tablero de control balanceado. Esta herramienta es un diseño de monitoreo de ejecución por indicadores. Estos son establecidos por el equipo de *Business Consulting*. El monitoreo conlleva a corregir cualquier desviación propia del entorno interno o externo. Es posible que se vea modificado en la marcha de ejecución (ver Tabla 10).

Tabla 10*Balanced Scorecard*

Componente	Objetivos	Indicadores	Unidad
Financiero	Ejecución de preparación de zona de implementación	% avance	%
	Cumplir plan de adquisición de maquinaria y equipos	% avance	%
	Retorno de Inversión	tiempo planificado	años
	100% ahorro de consumo de combustible Diesel	% ahorro	USD
Cliente	Conseguir certificaciones de mina ecológica	certificación	Und
	Desarrollar campañas de fomento de energía renovable	% campañas	%
Proceso	Adaptar los camiones mineros para consumo de hidrógeno Verde	Número de camiones	Und
	Implementar indicadores de ahorro de energía renovable por equipo	%	USD/kWh
	Medición de emisiones CO2	Cantidad de Tn CO2	Tn
Aprendizaje interno	Fomentar la cultura por innovación de proyectos con uso de H2 Verde	Número de proyectos	Und
	Personal capacitado en Hidrógeno Verde	Número de personas	Und

5.3. Plan de Implementación (Gantt) y Presupuesto

La propuesta del plan de implementación se muestra en la Tabla 11, donde se considera un tiempo de 42 meses (21 bimestres), se consideran 19 actividades, dentro de ellas están las partes de coordinación, actividades de implementación de planta hidrógeno en mina, actividades de adecuación de camiones mineros a hidrógeno, y propias de la operación en el proyecto nuevo.

Para los precios de equipos de producción de hidrógeno, primero se han analizado casos en distintas partes del mundo para la distribución de equipos con capacidades energéticas. Por ejemplo, como mencionó Calero (2023), en la planta de hidrógeno verde en Puerto Llano España, se tiene una planta fotovoltaica de 100 MW de potencia, la planta de hidrogeno verde utiliza a máximo rendimiento 20MW, el resto de energía se vierte a la red y también sirve para almacenar hidrógeno luego de su paso por electrolizadoras. La electrolizadora tiene 26 *stack* (pila) de 1.25MW y hacen un total de 20MW, cada *stack* tiene 200 celdas. Luego del proceso, el hidrógeno sale con una pureza de 99.995% a unos 30 bares de presión. Utiliza la tecnología PEM, se produce oxígeno también que por el momento se libera al ambiente.

Tabla 11

Diagrama Gantt del Plan de Implementación

Actividades	Responsable	Tiempo en Bimestres																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Actividades de Coordinación																						
Delegación de responsabilidades / Reuniones	EAR-GG	X																				
Establecer objetivos	EAR	X																				
Aprobación de recursos económicos	Socios	X																				
Actualización y difusión al equipo de trabajo	GG	X																				
Presentación a la autoridad de Energía / gobernador local en Perú	EAR	X	X																			
Supervisión de ejecución	EAR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Implementación de Planta de Hidrógeno																						
Preparación del terreno, ejecución de malla puesta a tierra y losa de fundación necesaria para el contenedor.	Proveedor-AAQ			X	X	X	X	X														
Ejecución de todas las obras de conexión necesarias (eléctricas, hidráulicas (carga y descarga) y aire comprimido).	Proveedor-AAQ								X	X	X	X	X	X								
Instalación del contenedor y montaje de la estructura de almacenaje de los cilindros de hidrógeno.	Proveedor-AAQ														X	X						
Ejecución de las conexiones asociadas.	Proveedor-AAQ													X	X							
Proceso de contratación con especialistas	EAR-Logística	X																				
Fabricación de equipos por parte del proveedor	Proveedor		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Instalación de equipos en planta	Proveedor																	X	X			
Comisionamiento, calibración y otras	Proveedor																			X		
Adecuación de camiones mineros																						
Adecuación de camiones mineros para Hidrógeno Verde	Proveedor								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Operación																						
Pruebas: organización de puesta en marcha, control de pruebas al finalizar	Proveedor-AAQ																				X	
Capacitación a operadores de camiones con H2 verde	Proveedor-AAQ																					X
Elaboración de protocolos de carga de combustible, procedimiento de operación, mantenimiento, manual de seguridad	Proveedor-AAQ																		X	X	X	
Capacitación de paradas de emergencia.	Proveedor-AAQ																					X

Nota: AAQ es Anglo American Quellaveco, EAR es equipo de alto rendimiento, GASR es Gerencia de Disponibilidad y Confiabilidad de Activos, y GG Gerente General.

Para comparar proyectos de generación de hidrógeno y en general de electricidad, se cuenta con el costo estandarizado de electricidad, siglas en inglés LCOE, es el costo promedio total de instalación y operación de la generación de electricidad, por unidad de energía eléctrica generada durante la vida útil (unidad común USD/MWh), ha sido la más aceptada (PYEP, 2021).

$$LCOE = \frac{VP(\text{Total de Costos del Proyecto})}{VP(\text{Total de Energía Eléctrica Generada})} = \frac{\text{USD}}{\text{MWh}}$$

VP: Valor Presente

Los costos a considerar son: (a) CAPEX (Inversión de Capital) como inversión inicial y capital de mantenimiento, (b) OPEX (Costos de operación), como costos fijos y variables, combustibles, mantenimiento de equipos, y (c) adicionales como impuestos, subsidios o incentivos, impuestos de emisiones de CO₂, otros gastos regulatorios.

Para el Perú, según indicó H2 Perú (2021), se tiene un LCOH (costo nivelado de hidrógeno, ver Figura 9) estimado para el año 2030 de 2.51 -5.23 USD/Kg. Este costo prevé 630 MW-850MW de capacidad instalada de electrolizadoras y 960MW-1,300MW de capacidad instalada de energía renovable, el coste de transporte representaría un 30% pero bajaría cada 10 años el porcentaje.

Para el caso en particular de AAQ, el motor eléctrico del camión minero es de 3,500 HP, carga en tonelada de equipo de 510 Tn (carga útil 290 Tn). Convertido a kW son 2,000 kW, de los cuales 800 kW son de celda de combustible y 1,200 kWh es la capacidad de batería ión-litio. La autonomía de los camiones mineros abastecidos con sistema mixto celda de combustible y baterías, es de 6 horas, con tiempo de recarga de 10 a 15 minutos. Existe una pérdida de energía en la conversión de hidrógeno a electricidad dentro de la celda de combustible, por lo cual se estima de 1000 kW la potencia a entregar a un camión por el electrolizador. Se considera 22 horas de operación al día de cada camión, aproximadamente 22,000 kWh al día por camión.

Figura 9

Costo Nivelado de Hidrógeno al 2030



Nota. Tomado de “Potencial del Hidrógeno Verde en el Perú”, por H2 Perú, 2021 (https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf).

La energía que provee un kg H₂ es 33.3 kWh, entonces se necesita 660 kg H₂ al día para un camión minero. Como son 28 camiones mineros se necesitan 18,480 kg H₂ al día, que representan 6’745,200 kg H₂ al año. En conclusión, se necesita 6,750 Tn H₂ al año para abastecer de hidrógeno verde a la flota de camiones mineros en AAQ.

Con relación a los precios, se muestran casos según *Clean Technica* (2023), por ejemplo, en Mongolia Interior utilizará electrolizadores de 390 MW para producir 30,000 toneladas de hidrógeno verde al año, este electrolizador se alimentará con 450 MW de energía eólica y 270 MW de energía solar, costará 831 millones de dólares (USD). Adicional a ello, como mencionó Shumkov (2023), el primer trimestre del 2023 se han presentado variedad de acuerdos de suministros de electrolizadores para proyectos en el mundo, entre ellos está la empresa sueca Metacon, que con un contrato de 5.8 millones de USD,

suministrará un sistema electrolizador llave en mano de hasta 5MW, considerando además un sistema fotovoltaico.

Para la planta fotovoltaica (FV) se consideran los equipos eléctricos y electrónicos que producirán energía eléctrica en base a la energía solar. Los paneles forman el componente principal en la planta fotovoltaica, esta alimentará a la planta de hidrógeno. Una corriente continua es producida por el generador FV, es transformada en corriente alterna mediante inversor fotovoltaico. Recordar que para la alimentación de la planta de hidrógeno se contará con la energía propia de la planta FV, así como del proveedor que brinda energía renovable. El diseño de la planta FV considera una potencia nominal de 42MW, potencia total 47.45 MWp, eficiencia 88.5%, 73,000 módulos de potencia (Trina Solar) 650 Wp cada uno. La tecnología empleada es de silicio monocristalino, de tipo de célula bifacial. La potencia necesaria del electrolizador (41.7MW) es el determinante en el establecimiento de la potencia requerida a la planta fotovoltaica. Para las características de la planta Fotovoltaica se llevó a cabo una simulación con el software PVSystem con más de 8000 valores anuales para el establecimiento del perfil de producción FV. La potencia nominal de 42MWac es conseguida con 227 inversores (Huawei) de 185 kWac, con voltaje de operación de 500-1500 V.

Con relación al área empleada, se tiene que las dimensiones del módulo son de 2384x1303x35mm, representando un área de 3.12 m² por módulo, y 227,760 m² por los 73,000 módulos. Para la planta FV en mina, se cuenta con 60 hectáreas disponibles destinadas a la planta FV (Ver Figura 10). Los costos estimados de inversión, operación y mantenimiento de la planta FV, son en base a proveedores de equipos y materiales en instalaciones de plantas fotovoltaicas, contrastadas con la publicación que hizo Irena (2022), estas se presentan en la Tabla 12, y en la Tabla 13 se muestran los costes OPEX.

Figura 10

Área de Localización de Planta FV



Nota. Tomado de “Mapa Satelital de Quellaveco”, 2023

(https://satellites.pro/mapa_de_Quellaveco#G-17.198205,-70.699768,16), Satellites Pro.

Tabla 12

Costos de Planta FV - CAPEX

Costos Planta FV	Presupuesto (USD)
CAPEX PLANTA FV	
Trabajos Civiles	1,383,234
Suministro De Equipos Principales	25,147,186
Suministro De Cables	1,936,527
Instalación Eléctrica	3,458,084
Montaje Mecánico	1,383,234
Sistemas Auxiliares	1,659,880
Seguridad y Salud	1,798,204
Total Planta FV	36,766,347
CAPEX Por Unidad De Potencia (usd/ MWp)	749691.8
CAPEX Por Unidad De Potencia (Musd/ MWp)	0.748
Contingencias	2%
Total CAPEX Planta FV	37,501,674

Para el dimensionamiento de la planta de hidrógeno, se determinó anteriormente la demanda de hidrógeno es de 6,750 Tn H₂ al año, esto es básicamente para los 28 camiones mineros. La planta de hidrógeno cuenta con uno o varios electrolizadores, los cuales son alimentados principalmente con agua de alta pureza (99.99%) y energía eléctrica. Como se

mencionó anteriormente, existen dos tecnologías en electrolizadores: (a) la de tipo alcalina que tiene mercado maduro, sus precios son los menores, entre 850 USD y 1,500 USD por kW, pero tienen su limitación con trabajo con energía renovable.

Tabla 13

Costos OPEX Planta FV

Costos Planta FV	Presupuesto
OPEX PLANTA FV	
O&M FV (Operación y mantenimiento) (usd/ MWp)	34153.85
Gestión de activos (usd/ MWp)	2220.00
Seguros (usd/ MWp)	1365.30
Auditorías y centro de monitoreo (usd/año)	3552.00

(b) la de tipo PEM, electrolizadores de membrana polimérica protónica, que tiene gran reacción ante variaciones de carga, por lo que se adapta bien a alimentaciones mixtas de fuente fotovoltaica y red externa. Por ende, se selecciona el electrolizador tipo PEM, esta tecnología posee metales nobles en sus electrodos por lo que encarece la tecnología, los precios están entre 1,500 a 3,800 por kW (Verdugo, 2022). La eficiencia de los electrolizadores está alrededor de 48 – 60 kWh/Kg H₂ (HINICIO, 2021), para un análisis conservador se considera el de 54 kWh/Kg H₂. En la Tabla 14 y Tabla 15 se muestran los costos que provienen de proveedores y proyectos similares.

Para el cálculo de la alimentación de la planta de Hidrógeno, se tiene que la potencia del electrolizador es de 41.7 MW, este equipo necesitará la energía desde la planta fotovoltaica y de la energía de red que es mediante contrato, esta energía de red es acreditada de energías renovables para que el hidrógeno resultante sea considerado verde. Actualmente el contrato de Energía es con la empresa Engie que abastece a un precio de 77 usd/kWh. La planta fotovoltaica abastece de energía variable acorde al mes del año, se ha considerado un perfil de producción anual acorde a otros diseños de planta como el presentado por Florencia (2022).

Tabla 14*CAPEX Planta de Hidrógeno*

CAPEX Planta Hidrógeno	USD
Electrolizador 41.7 MW	54,087,575
Planta de tratamiento de agua (ósmosis + EDI)	11,730,988
Almacenamiento de H2 a baja presión	6,980,745
Sistema de compresión (1400 kW)	10,887,305
Sistema de seguridad	4,820,955
<i>Piping</i> , instrumentación y control	5,192,407
Material eléctrico	9,952,114
Repuestos por dos años	865,401
Obra civil	10,817,515
Comisionado y montaje	12,981,018
Ingeniería	12,981,018
Contingencias	2.00%
Total CAPEX Planta de Hidrógeno	144,122,994

Tabla 15*CAPEX Reposición de Electrodos*

CAPEX Planta Hidrógeno – Reposición Electrodos	
Frecuencia de cambio de electrodos	15 años
CAPEX reemplazo de electrodos (% CAPEX del electrolizador)	20.4%
Total CAPEX reposición	11,033,865

Para el cálculo de la producción FV se empleó simulación en software PVSystem con 8760 valores anuales para el establecimiento del perfil, se consideran irradiaciones, temperaturas por mes, además de pérdidas en el sistema. En la Tabla 16 se muestra el consumo del electrolizador anual, proveniente de la fuente fotovoltaica y de la compra de la red, en la columna producción FV se muestra la energía efectiva entregada al electrolizador. Lo requerido a la red es la diferencia entre lo necesario por el electrolizador menos lo producido por la planta FV.

Tabla 16*Consumo Anual de Energía de Electrolizador*

Mes	Producción FV	Consumo EL	Consumo energía red
	MWh	MWh	MWh
Enero	2138.81	30093.9	27955.1
Febrero	2929.76	27183.0	24253.3
Marzo	4974.41	30093.9	25119.5
Abril	5846.07	29122.7	23279.4
Mayo	6857.63	30093.9	23236.3
Junio	6906.06	29122.7	22216.7
Julio	6865.70	30093.9	23228.2
Agosto	6252.31	30093.9	23841.6
Septiembre	5219.23	29122.7	23903.5
Octubre	3758.38	30093.9	26335.6
Noviembre	2214.14	29122.7	26911.3
Diciembre	1893.99	30093.9	28200.0
Total Anual	55856.48	354334.32	298480.53

El consumo de agua del electrolizador es de 9L/Kg H₂ producido, como el electrolizador produce 18,480 Kg/día (acorde a los 6750 tn H₂ al año), entonces consumirá 166,320 L/día. El consumo de toda la mina es de 700L/s (Anglo American, 2023), equivalente a 60'480,000 L/día, lo que significa que el 0.28% del consumo total de agua de la mina reemplazará a más del 70% del consumo de Diesel de las operaciones (camiones mineros).

Los OPEX (gastos de operación), se relacionan a los costos de las operaciones por motivo de producción. Los costos fijos de operación y mantenimiento de la planta se consideran entre 3 a 4% del CAPEX del total del electrolizador anual, según referente del mercado. Adicional a ello, es el costo de electricidad de la red, que tendrá que ser de procedencia de energía renovable para suplir la energía fotovoltaica. Los costos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17*OPEX Fijo y Variable de Planta de Hidrógeno*

OPEX PLANTA HIDRÓGENO	PRESUPUESTO
O&M H2 (Operación y mantenimiento) (usd/ MW Electrolizador)	41,625
Seguros (usd/ MW Electrolizador)	92,574
Costo electricidad mediante contrato – 10 primeros años (usd/MWh)	77
Costo electricidad compra a mercado – 20 últimos años (usd/MWh)	Variable

Con relación a la adaptación de camiones mineros, estos cambiarán de combustible Diesel a combustible Hidrógeno. Estas son consideradas cero emisiones, ya que el proyecto contempla que provenga de energías renovables. A mayores potencias del vehículo, el uso del hidrógeno es más ventajoso. Estos vehículos son eléctricos de pila de combustible (FCEV, *fuel cell electric vehicle*). Como indicó Fúnez (2019), el FCEV dispone de cuatro modos de funcionamiento (ver Figura 11):

- Pila de Combustible, la energía eléctrica proviene en exclusiva de la pila de combustible, este modo es habitual en requerimientos de potencia media, como por ejemplo cuando el camión circula en plano.
- Paralelo, la pila de combustible como la batería alimentan al motor eléctrico. Esta situación se presenta en momentos en los que el requerimiento de potencia es elevado de forma simultánea, como por ejemplo en una cuesta arriba.
- Carga, la pila de combustible alimenta al motor eléctrico a la vez que mantiene el estado de carga de la batería en niveles adecuados para provisión de nuevos requerimientos del tipo Paralelo. Esta situación se da por ejemplo cuando el requerimiento de potencia es bajo, como circular en plano a baja velocidad.
- Regeneración, en momentos en los que el vehículo realiza una frenada o el motor actúa como freno motor, donde la pila de combustible se detiene, y la energía generada por el motor es almacenada en las baterías del vehículo.

Figura 11

Modos de Funcionamiento FCEV

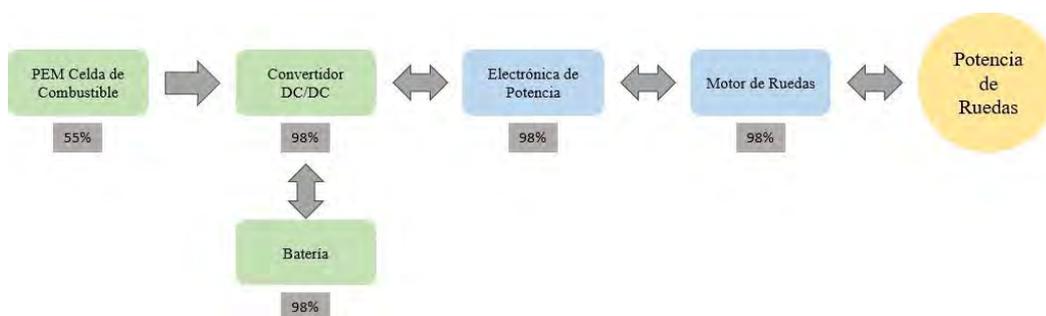


Nota. Tomado de “Electrificación”, por Arboleda, J. (<https://bit.ly/30G70Gk>), Hyundai Motor España. Hyundai Motor Company.

Para el coste de adecuación de camiones mineros, se tendrá en cuenta la experiencia con la propuesta en Anglo American Sudáfrica, el camión minero de 2,000 kW, de los cuales 800 kW son de celda de combustible y 1,200 kWh de batería ión-litio. En la Figura 12 se muestran los componentes internos de un camión reacondicionado a Hidrógeno como combustible.

Figura 12

Componentes del Tren de Fuerza Komatsu 930E, con tasas de eficiencia



Nota. Adaptado de Previabilidad De Utilizar La Celda De Combustible De Membrana De Intercambio De Protones (Pem) Alimentados Con Hidrógeno En La Movilidad Minera Chilena, por Niño, C., 2020

(<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/178550/Study-of-hydrogen-global-market-and-technical-and-economic-prefeasibility-of-using-the-proton-exchange-membrane-fuel-cell.pdf?sequence=1&isAllowed=y>), Universidad de Chile.

Para el coste de la celda de combustible como de la batería, se consideran los precios comerciales, así como lo indicado por Niño (2020). Los datos son mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18

Costos y Especificaciones de PEMFC y Batería Ion-Litio

Parámetro	Valor
2020 sistema PEMFC Costo unitario (USD/kW)	1,706
2030 sistema PEMFC Costo Unitario (USD/kW)	739
2020 Lithium-Ion Costo Unitario de Batería (USD/kWh)	156
2030 Lithium-Ion Costo Unitario de Batería (USD/kWh)	122
Membrana de intercambio de protones específica Costo Unitario (USD/kW)	3.3
PEMFC Pila Configuración Seleccionada (kW)	800
Lithium-Ion Configuración Seleccionada de Batería (kWh)	1200
2020 PEMFC Costo de Pila (USD)	1,364,800
2030 PEMFC Costo de Pila (USD)	591,200
2020 Lithium-Ion Costo Sistema de Batería (USD)	187,200
2030 Lithium-Ion Costo Sistema de Batería (USD)	886,800
Membrana de intercambio de protones Costo (USD)	2,640
PEM Ciclo de vida (años)	3
Lithium-Ion Ciclo de Vida (años)	2

A continuación, la Tabla 19 muestra el presupuesto para la implementación del proyecto económico de uso de hidrógeno verde en operaciones Anglo American Quellaveco S.A, se tienen en consideración las Tablas 12-18. La inversión considerada en actividades de coordinación y operación, cuenta con personal de Anglo American que ya dispone de una remuneración, por lo que se considera dentro de los costos hundidos, son actividades contempladas en las labores. El proveedor dentro de la oferta ya contempla capacitaciones y

puesta en marcha, así como comisionamiento e implementación de la planta de hidrógeno en mina.

Tabla 19

Presupuesto para el Plan de Implementación de AAQ

Actividades	Inversión económica (USD)
Actividades de Coordinación	-
Planta Fotovoltaica	37,501,674
Planta de Hidrógeno	154,171,754
Adecuación de Camiones Mineros (28und)	43,456,000
Operación	-
Total	235,129,428.39

5.4. Factores Clave de Éxito

Los factores clave de éxito son elementos requeridos para que Anglo American Quellaveco S.A. logre cumplir con las actividades para el logro de sus objetivos.

5.4.1. Habilitadores

Son elementos positivos para el logro de la implementación de solución. Se han seleccionado las siguientes:

- Su capacidad financiera y confianza internacional: Posee inversiones en todos los continentes, se esfuerza en su reputación para generación de confianza por todos los grupos de interés.
- Apertura a la tecnología: La matriz tiene la cultura de la innovación y mejora continua. Contiene áreas de SIB (de sus siglas en inglés *Stay in Business*, que plantea estrategias de cómo mantenerse en el negocio a través del conocimiento de los riesgos), además de su enfoque *Future Smart Mining*, que consiste en un modelo de minería basados en tecnología, digitalización, y sostenibilidad. Usa drones para el plan semanal de minado. Los datos ayudan a duplicar el tiempo de vida de los activos, por ejemplo, las llantas de camiones mineros.

- Adaptación al cambio: AAQ trabaja para aminorar sus costes operativos y ser eficientes en las operaciones y seguridad. Trabaja para eliminar la variabilidad e incertidumbre que existe en el rubro minero en operaciones a través de datos. Participa en conferencia con miras a los cambios futuros, como la conferencia mundial del cobre del año 2022 donde ya se avizora la escasez de oferta del cobre para el 2030.

5.4.2. Riesgos

Los riesgos son aspectos a considerar porque impiden el logro de implementación de la propuesta, se tienen los siguientes a consideración:

- La aprobación de la normativa es importante para que se empiece con la construcción y uso de hidrógeno verde en operaciones.
- El precio internacional del Cobre está en aumento, no se avizora que haya un sustituto por los 10 años, pero si el precio internacional baja, corre el riesgo de no ser rentable el proyecto.
- Aspecto político: si entrase un gobierno que nacionalice los proyectos mineros, se perjudicarían las inversiones.
- Aspecto social: las operaciones siempre están en riesgo de verse suspendidas por manifestaciones de la comunidad aledaña.

Capítulo VI: Resultados Esperados

En este capítulo se pone en manifiesto breve descripción de aspectos cualitativos y cuantitativos de la implementación de la alternativa de solución de ejecución de proyecto de uso de hidrógeno verde en las operaciones de AAQ. Como el *core* de la empresa es obtener beneficios económicos, se tendrá cálculos de indicadores financieros para determinar la viabilidad del proyecto.

6.1. Resultados Esperados del Plan de Implementación

La implementación de este proyecto de uso de hidrógeno verde en las operaciones es una alternativa que mejorará la imagen de la empresa, tendrá impacto en la reputación y reforzará la cultura y desempeño del personal AAQ. Además de imagen en todos los interesados, como inversionistas, comunidad, gobierno local y central. Una vez declarado el inicio de ejecución del proyecto se tendrá impacto financiero en las acciones. A largo plazo se tendrá replicaciones del uso de hidrógeno verde en otras mineras, además de servir de base al cambio de energía en el país.

6.2. Recuperación de la Inversión

La recuperación de la inversión comprende el resultado cuantitativo esperado de la inversión en la ejecución del proyecto, se ha analizado el flujo de caja libre de Anglo American considerando solo el proyecto, para posteriormente analizar los indicadores de VAN, TIR, beneficio/costo, periodo de recuperación de la inversión, se considera escenarios diferentes con o sin incentivo económico de parte de grupos que apoyen proyectos sostenibles, sean privados o del estado. Se considera financiamiento del 40% de la inversión, a una tasa de interés de 5.25% a 20 años. Esta tasa de interés se considera en razón que es la tasa que otorga el Banco de Inglaterra donde la sede matriz Anglo American participa de la bolsa de Londres, adicional a ello, el monto pudiera ser cubierto por capitales propios, pero se considera el financiamiento como escenario conservador.

Tabla 20

Flujo de Caja Sin Incentivo AAQ

Flujo de Caja (millones USD)																															
Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ahorro en No gasto de Diesel																															
MGln	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958	7.958
Precio USD/gln	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.67	6.80	6.94	7.08	7.22	7.36	7.51	7.66	7.81	7.97	8.13	8.29	8.46	8.63	8.80	8.98	9.16	9.34	9.53	9.72	9.91	
Total ahorro Diesel	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	53.08	54.14	55.22	56.33	57.45	58.60	59.78	60.97	62.19	63.43	64.70	66.00	67.32	68.66	70.04	71.44	72.87	74.32	75.81	77.33	78.87	
Ingresos	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	53.1	54.1	55.2	56.3	57.5	58.6	59.8	61.0	62.2	63.4	64.7	66.0	67.3	68.7	70.0	71.4	72.9	74.3	75.8	77.3	78.9	
Energía USD/año	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.98	22.52	22.07	21.63	21.20	20.77	20.36	19.95	19.55	19.16	18.78	18.40	18.04	17.67	17.32	16.97	16.64	16.30	15.98	15.66	15.34	
Gestión activos	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
O&M PV	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	1.68	
O&M EL	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74	
Seguros	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	3.93	
Auditorías y centro de monitoreo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total OPEX	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	30.44	29.98	29.53	29.09	28.65	28.23	27.82	27.41	27.01	26.62	26.23	25.86	25.49	25.13	24.78	24.43	24.09	23.76	23.43	23.11	22.80	
EBITDA	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	22.6	24.2	25.7	27.2	28.8	30.4	32.0	33.6	35.2	36.8	38.5	40.1	41.8	43.5	45.3	47.0	48.8	50.6	52.4	54.2	56.1	
Interés Financiero	4.94	4.79	4.64	4.48	4.31	4.13	3.94	3.74	3.54	3.32	3.09	2.84	2.59	2.32	2.04	1.74	1.43	1.10	0.75	0.38											
Amortizaciones y Depreciaciones	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	
Resultados Antes de Impuestos	8.3	8.4	8.6	8.8	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	11.7	13.4	15.2	17.1	18.9	20.8	22.7	24.7	26.7	28.7	30.7	32.4	34.1	35.9	37.6	48.8	50.6	52.4	54.2	56.1	
Impuestos 30%	2.5	2.5	2.6	2.6	2.7	2.7	2.8	2.8	2.9	3.0	3.5	4.0	4.6	5.1	5.7	6.2	6.8	7.4	8.0	8.6	9.2	9.7	10.2	10.8	11.3	14.6	15.2	15.7	16.3	16.8	
Resultados después de impuestos	5.8	5.9	6.0	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9	8.2	9.4	10.7	12.0	13.3	14.6	15.9	17.3	18.7	20.1	21.5	22.7	23.9	25.1	26.3	34.1	35.4	36.7	37.9	39.3	
CAPEX	235.1																														
IGV	42.3																														
Recuperación de IGV de Capex Incentivo	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	1.97														
Ingreso Deuda Financiera	94.1																														
Pago deuda Financiera	2.77	2.92	3.07	3.23	3.40	3.58	3.77	3.96	4.17	4.39	4.62	4.86	5.12	5.39	5.67	5.97	6.28	6.61	6.96	7.32											
Amortizaciones y Depreciaciones	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	9.41	
Flujo de proyecto	-183.4	15.26	15.22	15.18	15.13	15.08	15.02	14.97	14.91	14.84	14.78	15.77	16.77	17.78	18.79	6.88	19.98	19.04	20.07	21.11	22.16	30.92	32.10	33.29	34.50	35.73	34.14	35.40	36.66	37.95	39.25

En la Tabla 20 se muestra el flujo de caja. El incentivo se puede considerar de 5 millones de USD, que en Perú aún no se contempla, pero si está en los proyectos de ley mencionados anteriormente. La cifra es acorde a la institución en Chile (Corfo), que apoya a proyectos en combustión de hidrógeno (Reporte minero, 2017).

Para el cálculo de la tasa de descuento se emplea el valor de 5.21% que es el CCPP y resulta de los siguientes valores mostrados en la Tabla 21. Adicionalmente a ello, en la Tabla 22 se muestran los resultados de TIR y VAN para dos escenarios, con y sin incentivo económico. Como incentivo económico se considera los 5 millones de USD por grupos de apoyo a desarrollo de energías basados en Hidrógeno Verde, como el aporte de CORFO (Corporación de Fomento de la Producción) que ocurre en Chile, así como incentivo por parte del Estado en la exoneración de IGV. El indicador CCPP es el costo de capital promedio ponderado (WACC es su equivalente en inglés), TIR es la tasa interna de retorno, y VAN es el valor actual neto. El periodo de recuperación descontado de la inversión es de 18 años y 5 meses.

Tabla 21

Elementos para Tasa de Descuento

Tasa Impositiva	30.0%
Costo de la deuda (antes de impuesto)	5.25%
Costo de la deuda (después imp)	3.70%
Riesgo País	1.68%
Beta desapalancada	0.57
Beta apalancado	0.95
Rf (<i>Risk Free</i>)	4.2%
Prima de mercado	0.8%
Costo de Capital (coste de oportunidad del accionista)	6.67%
Pasivo	48.7%
Patrimonio	51.3%

Tabla 22*Indicadores Financieros Escenarios*

Indicador	Sin Incentivo	Con Incentivo
TIR	9.00%	10.52%
VAN (millones USD)	108.44	126.93
CCPP	5.21%	5.21%

Los valores mostrados en la Tabla 22, se muestra que la propuesta en mención es viable económicamente, esto debido a que se obtuvo un VAN mayor que cero (108.44 millones de USD sin contar incentivo económico), además, el TIR (9.00%), en el escenario sin incentivo, es mayor a la tasa de descuento (5.21%) por lo que si sería rentable. En otras palabras, considerando solo la opción sin incentivo, el proyecto tendría rendimientos (TIR) de 9.00%, y su coste de capital promedio (CCPP) sería 5.21%, lo que significa que la compañía tendría un rendimiento de 3.79% por cada dólar invertido en el proyecto. En el escenario de contar con incentivo, se tendría un rendimiento de 5.31% por cada dólar invertido.

Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones

El presente capítulo resume las principales conclusiones y recomendaciones luego de aplicado el proceso de *Business Consulting* a Anglo American Quellaveco S.A.

7.1. Conclusiones

El presente trabajo es el proceso de Business Consulting para la empresa AAQ del departamento de Moquegua y dedicada a la minería. Se determinó que el problema principal es la dependencia del Diesel, materializados en consumo elevado de Diesel, precio elevado influido por lo remoto, el coste operativo de transporte representa 47% del coste total de operaciones de mina, bloqueos de carreteras para las operaciones, autonomía de Diesel de cinco días.

Se determinaron las causas del problema principal haciendo uso del diagrama de Ishikawa, se tienen seis áreas: método (dos causas), maquinaria (dos causas), mano de obra (dos causas), materiales (dos causas), medición (dos causas), y medio ambiente (dos causas). Luego de emplear la matriz de priorización causa raíz, se tienen las tres principales causas: camiones mineros de carga de Diesel, Diseño actual de planta no considera otras energías, y no hay indicadores de logro progresivo de meta cero emisiones.

La solución propuesta luego de analizar el problema de dependencia del Diesel como energía fue la de implementar la planta de hidrógeno, con planta FV, así como adecuar los camiones mineros para uso de hidrógeno. Anglo American ya cuenta con experiencia de proyectos pilotos que dan confianza para la aplicación en AAQ.

Luego de analizar los resultados esperados, análisis financiero y las consideraciones establecidas, se considera viable, no solamente porque es posible realizarlo, sino también es factible, porque se puede realizar de manera sostenible y rentable económicamente. Este proyecto se puede realizar en 42 meses, como lo muestra el plan de implementación,

considerado en minería mediano plazo, además tiene un retorno descontado de la inversión de 18 años y 5 meses.

Los costes de la tecnología para producir hidrógeno verde tienden a variar con pendiente negativa, teniendo en cuenta que AAQ es una mina de tajo abierto en donde, este proyecto de implementación de hidrógeno verde es el que tendrá mayor impacto en la problemática de dependencia de Diesel. Estos costos a la baja de H₂ contrastan con los costes al alza del precio de Diesel, por esto el proyecto de Hidrogeno Verde es sostenible y rentable para AAQ.

Con relación a la viabilidad técnica, el fabricante asegurará a AAQ el completo funcionamiento de la tecnología de celdas de combustible, se está considerando primas de seguros acorde con la tecnología novedosa, además ya existen experiencias de operaciones en buses e incluso camiones mineros con celdas de combustible.

La energía aportada por la planta fotovoltaica es aproximadamente el 20% de la necesaria por la planta de Hidrógeno, el resto es proporcionada por la empresa Engie que provee energía renovable certificada a AAQ, se considera que el costo disminuirá por cada MWh a futuro mientras mayor sea la capacidad de electrólisis instalados en Perú.

El agua empleada para el proyecto de planta de hidrógeno no implicará cambios en la cantidad solicitada por estudio de impacto ambiental, la electrólisis consumirá el 0.28% del consumo total de mina, y reemplazará a más del 70% del consumo de Diesel de las operaciones, disminuyendo así la dependencia del Diesel.

La empresa AAQ ya no dependerá del Diesel, de su aumento de precio a futuro, de paralizaciones de vía terrestre para abastecerse de Diesel, no contará con autonomía energética cinco días (Diesel) debido a que cambiará de matriz energética, será más autónomo energéticamente, solo considerando que se alimentará de energía renovable mixta (propia y por proveedor). Esto tendrá repercusión en las acciones de bolsa de AAQ, su

imagen institucional y será modelo para otras operaciones mineras, cumplirá con el objetivo de cero emisiones al año 2040.

7.2. Recomendaciones

Este proyecto se ha realizado en coordinación con las áreas de Superintendencia de Infraestructura y Energía y Gerencia de Disponibilidad y Confiabilidad (GDC) de AAQ. Se recomienda como responsable de proyecto a la Gerencia de Disponibilidad y Confiabilidad, debido a su ya familiaridad con los camiones mineros, se conformará el EAR integrado por: (a) asuntos ambientales, (b) confiabilidad de activos, (c) legales, y (d) mina. La Gerencia General presentará el proyecto a la junta general de accionistas para aprobar la ejecución.

Se recomienda a AAQ implementar estas alternativas de solución propuestas en este Business Consulting, porque para que tenga éxito no es necesaria el incentivo oneroso por parte del Estado y de grupos económicos, sino que por sí misma es factible. Este incentivo sería un apoyo, pero no una limitante necesaria para empezar la implementación. Teniendo en cuenta que la minería es la principal aportante al PBI peruano, y con mayor relevancia los aumentos del precio del Cobre, se pueden dar mayores incentivos en el corto plazo. Es posible que las condiciones políticas ayuden a acelerar la implementación, pero no es limitante porque ya hay otras empresas que hay iniciado uso de electrolizadoras para producción de hidrógeno en Perú.

Se recomienda empezar la implementación de Hidrógeno Verde con los camiones mineros de AAQ, debido a que representan más del 70% del consumo de Diesel de todas las operaciones, posteriormente se aplicará en los otros equipos que consumen el 30% y se podrá tener el logro de cero emisiones de CO₂.

Se recomienda a AAQ implementar la planta FV y no solo comprar la totalidad de energía renovable, como se plantea en el presente Business Consulting, esto a causa de que es requisito de proyectos de Hidrógeno Verde para acceder a los incentivos según contraste de

otros países europeos. Además, al ser una planta FV modular, esta puede aumentar para proyectos futuros no solo de camiones mineros de carga, sino para otros vehículos menores y para excavadoras y otros generadores eléctricos, así también ya no disponer de comprar energía renovable al proveedor, o de tener respaldo en eventuales cortes de suministro.

Se recomienda a AAQ continuar su apoyo a la investigación relacionada a hidrógeno verde en minería como el Consejo Mundial del Hidrógeno y el Hydrogen Fuel Cell, esto debido a que se pueden usar esta tecnología en buques de gran capacidad que llevan los minerales al exterior.

Se recomienda a AAQ el cambio de matriz energética de Diesel a Hidrógeno Verde porque es el que representa mayor costo en las operaciones, además de ser estratégico para una minera remota a tajo abierto de gran tamaño. Este cambio debe ser antes del 2030 y no es necesario la espera de incentivos económicos, actualmente el cobre es demandado a nivel global y se considerará escaso por el cambio de matriz energética a nivel mundial. Los precios del mineral de cobre en la bolsa serán beneficiosos para implementar más proyectos en Quellaveco.

Referencias

Abril, M. C. (2018). *Diseño de Procesos de Gestión del Talento* (Primera ed., Vol. 1).

Consejo Editorial Universitario de Ambato.

Anglo American (2023, 31 de enero). *Quellaveco: Sustainability By Design* [Video].

<https://www.youtube.com/watch?v=hSc6jWtxoJM>

Anglo American Quellaveco (2023). *Quellaveco: Conoce Nuestra Unidad Minera en*

Moquegua. <https://peru.angloamerican.com/quellaveco/el-proyecto.aspx>

Ascanio, G. (2017, 17 de mayo). *Segmentos de mercado: ¿Para quién creamos valor?*

Finanzas y Fiscalidad. <https://www.cajasietecontunegocio.com/temas/finanzas-y-fiscalidad/item/segmentos-de-mercado-para-quien-creamos-valor#:~:text=Nicho%20de%20mercado%3A%20Los%20modelos,necesidades%20y%20problemas%20ligeramente%20diferentes.>

Bustamante, R. (2022). *Anglo American presentó el primer camión minero propulsado por*

Hidrógeno Verde en Sudáfrica. <https://www.portalminero.com/wp/anglo-american-presento-el-primer-camion-minero-propulsado-por-hidrogeno-verde-en-sudafrica/>

Calero, J. (2023, 8 de febrero). *Así Se Fabrica El Polémico Hidrógeno Verde: Visita a la*

mayor planta de Europa [Video]. Entrevista Cascarón de Nuez.

<https://www.youtube.com/watch?v=crwMxMw9Kkg>

Castillo, L. (2018). *Impacto en el Costo de Transporte de una Mina a Cielo Abierto por*

Conectividad de Fases [Tesis].

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/169984/Impacto-en-el-costo-de-transporte-de-una-mina-a-cielo-abierto-por-conectividad-de-fases.pdf?sequence=1>

CAT, Camiones para minería 794 AC (s.f.).

https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/1000021630.html

- Clean Technica (2023, 27 de febrero). *China acaba de iniciar la construcción del mayor proyecto de hidrógeno verde del mundo*. World Energy Trade.
<https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/gas/china-acaba-de-iniciar-la-construccion-del-mayor-proyecto-de-hidrogeno-verde-del-mundo>
- Educación Profesional Ingeniería UC (2020, 3 de julio). *Webinar Combustibles alternativos: hidrogeno verde en minería*. <https://youtu.be/nG15TP5q6Co>
- Educalink (2021). *Matriz de Afinidad*. [¿Qué es un diagrama de afinidad? - Educalink \(educalinkapp.com\)](https://www.educalinkapp.com).
- Energiminas (2022, 23 de noviembre). *Precios del diésel y de explosivos impactan en los costos de producción de mina Corihuarmi*. [Revista]. [Precios del diésel y de explosivos impactan en los costos de producción de mina Corihuarmi – Energiminas](#)).
- Engie (2022, 21 de enero). *¿Cómo utiliza ENGIE el hidrógeno verde para descarbonizar el sector minero?* <https://www.engie.com/en/business-case/engie-x-anglo-american>
- Florencia, M. (2022, setiembre). *Estudio técnico-económico de un sistema FVH2 para producción, almacenamiento y uso del hidrógeno en una instalación industrial*. Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/72106/3/TFM_Maria_Florencia_Larghi.pdf
- Fúnez, C (2019). *El hidrógeno como vector energético*. Universidad Autónoma de Chile.
<https://repositorio.uautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3191/Hidrogeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- García, F. (2018). *El efecto Quellaveco: análisis económico*. Tecnología minera, 12 (76), 14-16. Recuperado de <https://virtual.constructivo.com/edicion/tm76/>
- H2 Perú (2021). *Potencial del Hidrógeno Verde en el Perú*.
https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf

- H2 Perú (s.f.). *Brochure actualizado H2 Perú*. Asociación Peruana de Hidrógeno.
<https://h2.pe/uploads/Brochure-H2-Peru.-PDF.pdf>
- IMetChile (2022, 27 de julio). *Potencial de energías renovables y aplicación de hidrógeno verde en minería* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=HV6qXnk2BTE>
- IMetChile (2022, 28 de julio). *Potencial de energías renovables y aplicación de hidrógeno verde en minería* [Video]. https://www.youtube.com/watch?v=A_AfvBp-Uus
- HINICIO (2021). *Green Hydrogen in Mexico: towards a decarbonization of the economy*.
Volume IV: Opportunities for the private sector.
- Irena (2022). *Renewable power generation costs in 2021*. International Renewable Energy Agency. Irena.org. <https://www.irena.org/Publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021-ES>
- Marquina, P. (2013). *Responsabilidad Social: Tarea pendiente*. Pearson, Perú (1ra edición).
- Ministerio de Energía y Minas (2021). *Producción minera anual 2011-2020*.
http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=1&idEstadistica=12501
- Niño, C (2020). *Previabilidad De Utilizar La Celda De Combustible De Membrana De Intercambio De Protones (Pem) Alimentados Con Hidrógeno En La Movilidad Minera Chilena*. (<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/178550/Study-of-hydrogen-global-market-and-technical-and-economic-prefeasibility-of-using-the-proton-exchange-membrane-fuel-cell.pdf?sequence=1&isAllowed=y>).
- Observatorio energético minero (2020). *Principales Proyectos Mineros en el Perú*.
<https://observatorio.osinergmin.gob.pe/principales-proyectos-mineros>
- Osterwalder, A. & Pigneur, Y. (2011). *Generación de modelos de negocios*. Grupo Planeta. España. ISBN: 978-84-234-2841-0 (PDF)

- Pantoja, L. (2013). *El método de explotación a tajo abierto y la productividad en Castro Virreina Compañía Minera*- U.P. San Genaro. Universidad Nacional del Centro. Tesis de grado. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1332>
- Perú Anglo American (2022). *Conoce el proyecto*. Página web. <https://peru.angloamerican.com/es-es>
- Perú Anglo American (2023). *La meta de un transporte marítimo neutro en carbono para el 2040*. Página web. <https://peru.angloamerican.com/innovacion/energias-renovables/la-meta-de-un-transporte-maritimo-nuetro-en-carbono-para-el-2040.aspx>
- Proyecto de Ley N° 4374 (2022). *Ley que propone la creación e implementación del parque de electrolizadores para producción y almacenamiento del hidrógeno como alternativa para la transición energética*. https://wb2server.congreso.gob.pe/spley-portal-service/archivo/ODIwOTI=/pdf/PL_4374
- PYEP (2021, 13 de abril). *¿Qué es el Costo Estandarizado de Electricidad? LCOE*. Perú Young Energy Professional. [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=qobrdOY0GtQ>
- Quellaveco web (2022). *Proyecto: así se construye Quellaveco*. <https://peru.angloamerican.com/es-es/quellaveco/el-proyecto>
- Reporte minero (2017, 13 de junio). *Camiones verdes gracias al uso de hidrógeno*. [Video] <https://youtu.be/aQEsWNpW8X0>
- Rodriguez, M. (2021). *Posibles modelos de negocio para proyectos de hidrógeno verde*. FRV. https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2021/07/Segunda-sesio%CC%81n_Modelos-de-Negocio_H2-verde.pdf
- Rodriguez, J. (2023, 13 de febrero). *Qué es el diagrama de Ishikawa, para qué sirve, cómo crearlo y ejemplos*. <https://blog.hubspot.es/sales/diagrama-ishikawa>

Rojas, A. R. F. (2009). *Herramientas de Calidad*. Madrid: Universidad Pontificia de Comillas, ICAI-ICADE.

Satellites Pro (2023). *Mapa Satelital de Quellaveco*.

https://satellites.pro/mapa_de_Quellaveco#G-17.198205,-70.699768,16

Shumkov, I. (2023). *Overview – Siemens Energy electrolyser deal dwarfs rest in Q1 2023*.

<https://renewablesnow.com/news/overview-siemens-energy-electrolyser-deal-dwarfs-rest-in-q1-2023-820550/>

Tomatis, E. (2017). *Metodología del edu-entretenimiento como herramienta de participación ciudadana en el Proyecto Minero Quellaveco, durante los años 2008 - 2010*. Perú,

Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Negocios. Recuperado de

<http://hdl.handle.net/20.500.12404/9345>

Verdugo, S. (2022). *Descarbonización e Hidrógeno Verde en la minería chilena: estado del arte y principales desafíos*. DEPP 36/2022. Dirección de Estudios y Políticas Públicas.

Apéndices

Apéndice A: Entrevista a Personal Anglo American

A1: Entrevista Aplicada a Gerente de Anglo American Quellaveco S.A.

Estimado Gerente:

La presente guía se usa para recolectar información que ayudará a la realización del Business Consulting a la empresa Anglo American Quellaveco S.A. La información brindada es de uso académico y busca plantear soluciones en bien del logro de objetivos de la empresa. Esta información será adjuntada al trabajo de grado para la Escuela de Posgrado Centrum Católica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con lo cual se obtendrá el grado de Magister en Administración Estratégica de Empresas. Finalmente, agradecer por su disposición y claridad ante las presentes preguntas.

Atentamente:

Antony Ticse, Dewi Rossmery, Douglas Chávez, y Edson Pariona

A1.1 Guía de Entrevista al Gerente de Anglo American Quellaveco S.A.

Empresa: Anglo American Quellaveco S.A.

Cargo: Gerente de disponibilidad y confiabilidad

Nombre: R.A.

Fecha: 16 de marzo de 2023

Tiempo de entrevista: 0.5 hora

Introducción: Buenos días, somos Antony Ticse, Dewi Rossmery, Douglas Chávez, y Edson Pariona, estamos recolectando información sobre situaciones de mejora para plantear alternativas de solución a modo de consultoría a la empresa Anglo American Quellaveco S.A. Tenemos conocimiento de los retos y objetivos de la empresa a modo general y respetuosamente solicitamos pueda acceder a responder las siguientes interrogantes:

Desarrollo:

1. Desde el tiempo que viene laborando en la empresa, ¿cómo definiría la cultura de la empresa?, ¿Considera que ha habido cambios hasta la actualidad?

Tuve la oportunidad de estar desde el inicio del proyecto, apoyando en la fase de construcción, levantamiento de información de maquinarias, equipos de proceso, puesta en marcha como parte supervisora de las empresas contratistas para la entrega del proyecto. Considero que la cultura ha sido de alto sentido en la seguridad, cooperación, eficiencia e innovación. Se ha mantenido, y siempre hay incentivo a innovar con reconocimientos a las mejoras en las áreas, hay inversiones importantes en todo lo relacionado a digitalización de procesos y automatización de actividades.

2. ¿Cuál considera es el principal objetivo de Quellaveco?

El objetivo principal es ser la primera mina digital con apoyo de las personas y su capacidad. Este año 2023 se estima llegar a altos niveles de producción con cero accidentes lo cual apoyará en los estados financieros de la matriz. Como parte de operaciones, consideramos que, para lograr esos objetivos, tenemos que mantener los equipos con adecuados mantenimientos, además de trabajo conjunto con las empresas contratistas. El aspecto logístico es importante también para la ejecución eficiente de mantenimientos y operaciones. Al ser una mina con gran participación de operaciones en el mundo, su foco es innovar para tener mejores resultados. Tiene pilotos de energía renovable en varias filiales, y como toda empresa el objetivo es rentabilizar las operaciones e impactar positivamente en cada región donde opera.

3. ¿Cuál considera sería los principales inconvenientes para llegar a esos objetivos?

Considero que la principal limitante sería lo alejado de toda operación minera, enfatizar en la logística, contratos, buscar mejorías en los costos tanto de operaciones como insumos. En los mantenimientos también buscar que sea solo cuando sea necesario, lo que se

llama mantenimiento predictivo. Implementar acciones para tener más autonomía en cuanto a energía. El año pasado con el clima social agitado, se puso en evidencia la importancia de tener mayor independencia, autonomía energética. Considerando en costos de producción, la mayor parte son por parte de combustibles de los camiones autónomos, y existe la idea de usar energía renovable como el hidrógeno verde para el uso en camiones y servicio de equipos. Otra limitante es el aspecto social, que puede cambiar con las acciones del gobierno central. Finalmente, también considero que es importante el entorno mundial, el precio del cobre ha mejorado con respecto a años anteriores. China que es el principal comprador de minerales, ayuda a que proyectos como Quellaveco sean rentables.

4. ¿Cuál considera son las ventajas de Quellaveco?

El *know how* que tiene Anglo American a través de más de un siglo de operaciones en todo el mundo, eso además del soporte financiero, el personal que tiene amplia experiencia en operaciones, considero su organización y automatización de información. Diversifica las inversiones para que el grupo en general tenga beneficios.

5. ¿Se cuenta con el personal humano para lograr cumplir los objetivos?

El personal es capacitado, tiene la experiencia, quizás para lograr un objetivo en concreto se deba formar un grupo especializado con una adecuada dirección. Por ahora la empresa tiene líderes de otras operaciones que tienen experiencia en nuevas tecnologías. Por ejemplo, en el tema de lograr implementar las energías renovables en las operaciones, se cuenta con el conocimiento en operaciones en Sudáfrica como proyecto especial, y seguirá Chile. El objetivo es implementar en Perú también, eso porque es estratégico junto con Chile, está la opción de tener una planta que abastezca a todas las operaciones, tiene como respaldo empresas de energía como Engie, además mantiene contacto con fabricantes en lo relacionado a innovaciones en Hidrógeno Verde. Más adelante habrá especialistas locales en tema de hidrógeno verde para la implementación en Quellaveco.

Cierre:

Agradecemos su tiempo brindado. La información será insumo para completar el Trabajo de Grado (Business Consulting) para la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú para obtener el grado de Magíster en Administración Estratégica de Empresa.

A2: Entrevista Aplicada a Superintendente de Anglo American Quellaveco S.A.

Estimado Superintendente:

La presente guía se usa para recolectar información que ayudará a la realización del Business Consulting a la empresa Anglo American Quellaveco S.A. La información brindada es de uso académico y busca plantear soluciones en bien del logro de objetivos de la empresa. Esta información será adjuntada al trabajo de grado para la Escuela de Posgrado Centrum Católica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con lo cual se obtendrá el grado de Magister en Administración Estratégica de Empresas. Finalmente, agradecer por su disposición y claridad ante las presentes preguntas.

Atentamente:

Antony Ticse, Dewi Rossmery, Douglas Chávez, y Edson Pariona

A2.1 Guía de Entrevista al Superintendente de Anglo American Quellaveco S.A.

Empresa: Anglo American Quellaveco S.A.

Cargo: Superintendente de Infraestructura y Energía

Nombre: M.L.

Fecha: 13 de mayo de 2023

Tiempo de entrevista: 0.5 hora

Introducción: Buenos días, somos Antony Ticse, Dewi Rossmery, Douglas Chávez, y Edson Pariona, estamos recolectando información sobre situaciones de mejora para plantear

alternativas de solución a modo de consultoría a la empresa Anglo American Quellaveco S.A. Tenemos conocimiento de los retos y objetivos de la empresa a modo general y respetuosamente solicitamos pueda acceder a responder las siguientes interrogantes:

Desarrollo:

1. ¿Cuál considera es el principal objetivo de Quellaveco?

Considero que el principal objetivo de Quellaveco es ser sostenible en un sentido amplio, lo que significa tener impacto positivo en la sociedad, ser rentable, ser eficiente. En base a esto, Quellaveco busca que esta operación sea replicable a otras. Como objetivos prácticos tiene el objetivo de cero emisiones al año 2040, esto es relevante en el contexto mundial que se observa el cambio climático, en Perú por ejemplo con climas elevados

2. ¿Cuál considera sería los principales inconvenientes para llegar a esos objetivos?

Para ser sostenible se considera que el ahorro de energía, ahora se cuenta con una flota de camiones para transporte de minerales, estos consumen entre 70 a 75% del consumo total de Diesel, son propios y cuentan con manejo automático. Una mejora en estos camiones mineros, representan grandes ahorros en operaciones, se podría cambiar a gas, o inyectar hidrógeno en proporciones menores para tener ahorros, pero acorde con el objetivo de cero emisiones, entonces se buscaría electromovilidad. Solo considerar batería es impráctico por lo pesado que resultan para mover 300 tn de minerales, por ello se buscaría plantear otras energías como el hidrógeno, que tendría mayor densidad energética que la batería.

Inconvenientes externos serían la inestabilidad política, y conflictos sociales.

3. ¿Cuál considera son las ventajas de Quellaveco?

Las ventajas es que es una mina de Cobre y Molibdeno, el Cobre es un mineral que se empleará en la electromovilidad, además de los dispositivos electrónicos, cableado para antenas, a futuro se estima costos elevados del cobre porque se considerará recurso escaso

acorde a la demanda mundial. Quellaveco está en quinto lugar en yacimiento de cobre a nivel mundial, considerando al Perú, está en segundo lugar de producción de cobre mundial.

4. ¿Se cuenta con el personal humano para lograr cumplir los objetivos?

Existen otras operaciones que emplean energías renovables a menor escala del grupo Anglo American, Quellaveco cuenta con profesionales que ya se están capacitando en proyectos de hidrógeno verde.

Cierre:

Agradecemos su tiempo brindado. La información será insumo para completar el Trabajo de Grado (Business Consulting) para la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú para obtener el grado de Magíster en Administración Estratégica de Empresa.

