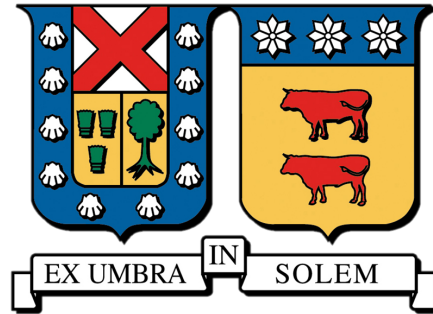


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE JOSÉ MIGUEL CARRERA, VIÑA DEL MAR, CHILE.**



Análisis Comparativo entre la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificación Minero Chileno 2019, Identificando Brechas y Oportunidades de Mejora.

Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero
en Mantenimiento Industrial, con Grado Académico de
Licenciado en Ingeniería de Mantenimiento.

Autor:

Benjamín Lucas Zárate Cortes

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Análisis Comparativo entre la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificación Minero

Título del trabajo: Chileno 2019, Identificando Brechas y Oportunidades de Mejora.

Nombre del candidato(a): Benjamín Lucas Zárate Cortés

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial / Licenciado en Ingeniería de Mantenimiento

Campus: Sede José Miguel Carrera **Departamento:** Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 14-01-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 08/01/2026

Firma:

Benjamín L. Zárate C.
20.795.969-3

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIA

*A mi familia, mi pareja y mis amigos,
por su apoyo constante y por acompañarme
en cada etapa de este camino.*

*”La vida solo puede ser comprendida mirando hacia atrás,
pero ha de ser vivida mirando hacia adelante.”*

Søren Kierkegaard.

AGRADECIMIENTOS

*A la Prestigiosa Universidad Técnica Federico Santa María
y al Departamento de Mecánica de la sede José Miguel Carrera,
por el espacio y las herramientas brindadas durante mi formación.*

*A mi profesor guía, Mg. Ing. Pablo Andrés Duque Ramírez.
Por su orientación, confianza y apoyo en el desarrollo de esta memoria.*

Asimismo, **Benjamín Lucas Zárate Cortés**, autor de esta memoria, declaró haber utilizado herramientas de inteligencia artificial únicamente como apoyo en la redacción y mejora del estilo académico de este documento. Dichas herramientas no intervinieron en la generación de contenidos técnicos, metodológicos ni en los resultados de la investigación.

RESUMEN

Esta memoria aborda la necesidad de contar con marcos de cualificación en mantenimiento que respondan tanto a estándares internacionales como a requerimientos sectoriales específicos. El objetivo es realizar un análisis comparativo entre la norma “*Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel*” (BS EN 15628:2014), y el Marco de Cualificación Minero (MCM) 2019, identificando convergencias, divergencias y oportunidades de articulación.

Se revisa la evolución de la gestión del mantenimiento y el desarrollo de marcos de cualificación. La norma “*Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel*” se presenta como un referente multisectorial alineado con el Marco Europeo de Cualificaciones (EQF), mientras que el MCM 2019 refleja el contexto chileno, con énfasis en su vinculación con ChileValora, la Educación Media Técnico Profesional (EMTP) y la Formación Técnica de Nivel Superior (FTNS). La Industria 4.0 y la transformación digital se analizan como ejes transversales que condicionan el desarrollo de competencias en mantenimiento.

La metodología se basó en el ciclo PHVA, matrices comparativas con indicadores binarios y una escala de uno a cinco sintetizada en gráficos radar, considerando seis criterios: estructura, tipos de competencias, pertinencia sectorial, vinculación con formación/certificación, flexibilidad tecnológica y mejora continua.

De acuerdo con la Alianza CCM-Eleva (2023), la minería chilena proyecta una demanda de más de 18.000 nuevos talentos en mantenimiento para la próxima década, lo que evidencia una brecha de cualificación significativa frente a la oferta formativa actual. Este déficit sustenta la relevancia del estudio y la necesidad de articular marcos normativos actualizados que garanticen la formación pertinente del capital humano.

Los resultados muestran que la norma “*Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel*” aporta estandarización y movilidad internacional, pero carece de adaptación sectorial, mientras que el MCM 2019 asegura alta pertinencia y actualización tecnológica, aunque con menor proyección internacional. Se concluye que ambos marcos son complementarios y que su articulación puede garantizar perfiles de mantenimiento competitivos, adaptables y sostenibles en la minería chilena.

ABSTRACT

This thesis addresses the need for qualification frameworks in maintenance that respond both to international standards and to sector-specific requirements. The objective is to carry out a comparative analysis between the standard “Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel” (BS EN 15628:2014) and the Mining Qualification Framework (MCM) 2019, identifying convergences, divergences, and opportunities for improvement.

The evolution of maintenance management and the development of qualification frameworks are reviewed. The “Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel” standard is presented as a multisectoral reference aligned with the European Qualifications Framework (EQF), while the MCM 2019 reflects the Chilean context, emphasizing its linkage with ChileValora, Technical-Professional Secondary Education (EMTP), and Higher Technical Education (FTNS). Industry 4.0 and digital transformation are analyzed as cross-cutting factors that influence the development of maintenance competencies.

The methodology was based on the PDCA cycle, comparative matrices with binary indicators, and a one-to-five scale summarized in radar charts, considering six criteria: structure, types of competencies, sectoral relevance, linkage with training/certification, technological flexibility, and continuous improvement.

According to the CCM–Eleva Alliance (2023), Chilean mining projects a demand for more than 18,000 new maintenance professionals over the next decade, revealing a significant qualification gap relative to the current educational offer. This deficit underscores the relevance of this study and the need to align qualification frameworks to ensure the effective preparation of skilled human capital.

The results show that the “Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel” standard provides standardization and international mobility but lacks sectoral adaptation, while MCM 2019 ensures high relevance and technological updating, though with less international projection. It is concluded that both frameworks are complementary and that their articulation can ensure maintenance profiles that are competitive, adaptable, and sustainable within the Chilean mining industry.

Índice

Introducción	9
Objetivo General	10
Objetivos Específicos	10
1 Capítulo I: Fundamentación y Contexto del Análisis Comparativo.	11
1.1 Reseñas de British Standards Institution (BS) Y Marco Cualificación Minero (MCM)	12
1.1.1 British Standards Institution (BS)	12
1.1.2 Marco de Cualificación Minero 2019 (MCM)	13
1.2 Caso de Investigación	15
1.3 Contexto General	15
1.3.1 Panorama Actual de la Profesionalización del Mantenimiento Minero Chileno	16
1.3.2 Tasa de Profesionales en Mantenimiento Minero	17
1.3.3 Brechas Formativas en Capital Humano	18
1.4 Proyecciones de Fuerza Laboral	19
1.5 Problema de Investigación y Motivación del Estudio	21
1.6 Análisis Propuesto	22
2 Capítulo II: Marco Teórico	24
2.1 Introducción	25
2.2 Evolución y Rol Estratégico del Mantenimiento	25
2.2.1 Relación entre Enfoque del Mantenimiento y la Profesionalización Técnica	26
2.3 Enfoques y Modelos de Gestión del Mantenimiento	28
2.3.1 Mantenimiento Correctivo (MC)	28
2.3.2 Mantenimiento Preventivo (MP)	28
2.3.3 Mantenimiento Predictivo (PdM)	28
2.3.4 Mantenimiento Basado en Condición (CBM)	29
2.3.5 Mantenimiento Proactivo (PAM)	29
2.3.6 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)	29
2.3.7 Modelos Integrales de Gestión del Mantenimiento	29
2.4 BS EN 15628:2014, Maintenance - Qualification of Maintenance Personnel	29
2.4.1 Estructura por Niveles	31
2.4.2 Funciones y Aplicaciones	31
2.4.3 Relevancia para la mano de obra calificada del Mantenimiento	32
2.5 Marco de Cualificación Minero (MCM 2019)	32
2.5.1 Estructura del MCM 2019	34
2.5.2 Perfiles Relevantes para Mantenimiento	38
2.5.3 Relación con la Formación y Certificación	38
2.5.4 Valor Estratégico	38
2.6 Mapa Conceptual	38
2.7 Criterios para el Análisis Comparativo	39

3	Capítulo III: Comparación Estratégica y Técnica de Marcos de Cualificación para el Personal de Mantenimiento	41
3.1	Introducción	42
3.2	Enfoque Metodológico	42
3.3	Comparación por Criterios Técnicos	44
3.3.1	Estructura de Niveles de Cualificación	44
3.3.2	Tipos de Competencias Consideradas	45
3.3.3	Pertinencia Sectorial y contextual	47
3.3.4	Vinculación con Formación y Cerificación	48
3.3.5	Flexibilidad y Adaptación Tecnológica	50
3.3.6	Orientación a Resultados y Mejora Continua	52
3.4	Síntesis comparativa	53
3.4.1	Estandarización vs Pertinencia Local	54
3.4.2	Flexibilidad y Minería 4.0	55
3.4.3	Trayectorias formativas y Mejora Continua	56
3.4.4	Definición de escala Covergencias y Divergencias	58
3.4.5	Índice global de convergencia	60
3.4.6	Trazabilidad del cálculo de los 6 criterios	61
3.4.7	Análisis Final de Resultados Cuantitativos y Cualitativos	62
	Limitaciones y Validez	63
	Discusión	64
	Conclusiones	67
	Propuestas a Trabajos Futuros	68
	Referencias	70
	Anexos	73

Figuras

1	<i>Ejemplo Oferta Formativa para Mantenimiento Mecánico, nivel 1 no aplica.</i>	14
2	<i>Demanda vs Oferta del personal de mantenimiento.</i>	17
3	<i>Proyecciones del personal de mantenimiento para 2032</i>	18
4	<i>Diferencias de titulaciones en los años 2012 y 2022.</i>	20
5	<i>Línea temporal de la evolución del mantenimiento.</i>	26
6	<i>Evolución del enfoque de mantenimiento y su nivel de profesionalización.</i>	27
7	<i>Estructura de niveles EQF utilizadas por la Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel.</i>	30
8	<i>La matriz del Marco de Cualificaciones Técnico-Profesional, utilizada por el MCM.</i>	33
9	<i>Comparativa de Marcos de Cualificación.</i>	39
10	<i>Comparación Global por Criterio.</i>	54
11	<i>Convergencia y Divergencias.</i>	59
12	<i>Convergencias y Divergencias sin Criterio de Pertinencia Sectorial.</i>	66

Tablas

1	<i>Descripción general de los requisitos esenciales de formación y experiencia (BS EN 15628:2014).</i>	13
2	<i>Propuesta de análisis comparativo entre Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificación Minero 2019.</i>	23
3	<i>Dimensiones y subdimensiones del Marco de Cualificación Minero (MCM).</i>	33
4	<i>Ciclo PHVA.</i>	42
5	<i>Regla de categorización utilizada en las matrices comparativas.</i>	44
6	<i>Aplicación del ciclo PHVA en la estructura de niveles de cualificación (3.3.1).</i>	44
7	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.1, con verificación binaria de indicadores.</i>	45
8	<i>Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.2</i>	46
9	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.2, con verificación binaria de indicadores.</i>	46
10	<i>Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.3</i>	47
11	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.3, con verificación binaria de indicadores.</i>	48
12	<i>Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.4</i>	49
13	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.4 (vinculación con formación y certificación), con verificación binaria de indicadores.</i>	49
14	<i>Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.5 (flexibilidad y adaptación tecnológica).</i>	50
15	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.5, con verificación binaria de indicadores.</i>	51
16	<i>Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.6</i>	52
17	<i>Matriz comparativa del criterio 3.3.6 (orientación a resultados y mejora continua), con verificación binaria de indicadores.</i>	53
18	<i>Comparación de la flexibilidad y adaptación tecnológica.</i>	55
19	<i>Aplicación del ciclo PHVA en la flexibilidad tecnológica y minería 4.0.</i>	56
20	<i>Aplicación del ciclo PHVA en trayectorias formativas y mejora continua.</i>	57
21	<i>Cuantificación comparativa de los seis criterios analizados (escala 1–5).</i>	59
22	<i>Normalización y solapamiento criterio a criterio.</i>	61

Anexos

Anexo 1	<i>Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.1</i>	73
Anexo 2	<i>Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.2</i>	73
Anexo 3	<i>Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.4</i>	73
Anexo 4	<i>Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.5</i>	74
Anexo 5	<i>Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.6</i>	74

Introducción

El presente trabajo tiene por finalidad desarrollar un análisis comparativo entre marcos de cualificación del personal de mantenimiento, enfocado en la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificaciones Minero 2019 de Eleva. Este estudio busca aportar una mirada técnica, práctica y estratégica sobre cómo se definen, estructuran y certifican las competencias con estándares internacionales que hoy exige el mantenimiento industrial en sectores altamente especializados como la minería chilena.

La motivación para abordar esta temática surge de un interés personal y profesional por comprender en profundidad los desafíos reales que enfrenta el personal de mantenimiento en terreno, y cómo los sistemas de formación y certificación pueden ser fortalecidos para responder de forma más efectiva a las necesidades actuales del sector productivo. Esta preocupación se enmarca en la necesidad de alinear las competencias laborales con los lineamientos de gestión de activos establecidos por la norma ISO 55000:2014, y con los principios de mejora continua promovidos por la ISO 9001:2015, que orientan la estandarización y la eficiencia en los procesos industriales.

En la industria moderna, la gestión del mantenimiento ha evolucionado de ser una actividad reactiva a un proceso estratégico crucial para la disponibilidad, eficiencia y confiabilidad de los activos. Este cambio es especialmente vital en la minería chilena, un entorno de alta criticidad que demanda técnicos y profesionales capaces de operar en escenarios cada vez más automatizados y adaptados a la Industria 4.0.

La urgencia por optimizar el capital humano es clara: la gran minería chilena proyecta una demanda de más de 34,000 nuevos talentos en la próxima década. De estos, más de 18,000 personas corresponden a perfiles del área de mantenimiento siendo el Mantenedor Mecánico el más requerido. Sin embargo, esta demanda coexiste con una crítica brecha de cualificaciones, donde el 44 % de los participantes considera insuficientes las competencias digitales del personal, tensionando el equilibrio entre costo, riesgo y desempeño de los activos.

Metodológicamente, el estudio se desarrolla bajo el enfoque de mejora continua del ciclo PHVA (Planificar–Hacer–Verificar–Actuar), aplicado a los procesos de análisis y evaluación comparativa. Se utilizan matrices de indicadores binarios y una escala de desempeño cualitativo-cuantitativa, cuyos resultados se sintetizan mediante gráficos tipo radar que permiten visualizar las diferencias y convergencias entre ambos marcos. Finalmente, el documento se organiza en tres capítulos: el primero presenta el contexto y la fundamentación del estudio; el segundo desarrolla el marco teórico y los criterios de análisis; el tercero aborda la metodología y los resultados comparativos.

Esta investigación, por tanto, se concibe no solo como una contribución académica, sino como una herramienta aplicable en el diseño, evaluación y mejora continua de los procesos de formación y certificación del capital humano con estándares internacionales, especialmente en el contexto minero chileno.

Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificaciones Minero 2019, identificando brechas y oportunidades de mejora en la formación y certificación del personal de mantenimiento en la industria.

Objetivos Específicos

- Evaluar la estructura, criterios y descriptores de competencia presentes en ambos marcos, determinando su grado de correspondencia y posibles convergencias o divergencias.
- Comparar los niveles de cualificación y perfiles profesionales asociados al mantenimiento en minería, con el propósito de detectar brechas formativas y de certificación entre ambos marcos de referencia.
- Proponer estrategias de fortalecimiento en la formación y certificación del personal de mantenimiento en minería, fundamentadas en los resultados del análisis y orientadas a la mejora continua del sector.

1. Capítulo I: Fundamentación y Contexto del Análisis Comparativo.

1.1. Reseñas de British Standards Institution (BS) Y Marco Cualificación Minero (MCM)

El presente capítulo describe el contexto que fundamenta el análisis comparativo entre la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificaciones Minero 2019. Se revisan su contexto y alcances, en relación con los desafíos actuales del personal operativo y táctico del mantenimiento en la industria minera chilena.

1.1.1. British Standards Institution (BS)

La estandarización de cualificaciones en mantenimiento en Europa emerge en un contexto de cambio estructural y búsqueda de productividad. Tal como señala el borrador de la norma, “social changes in Europe require new strategies in economics and societal behaviour” E. C. for Standardization (2009), en línea con la adopción de marcos basados en resultados de aprendizaje. En paralelo, el Marco Europeo de Cualificaciones (EQF) se define como “a common reference framework of eight levels based on learning outcomes” Council of the European Union (2017), lo que otorga coherencia a iniciativas como BS EN 15628:2014 al vincular perfiles, niveles y resultados esperados.

El British Standards Institution (BSI), fundado en 1901, es el organismo nacional de normalización del Reino Unido y uno de los referentes más reconocidos a nivel mundial en el desarrollo de estándares técnicos, de calidad y de gestión. Según el propio organismo, "su misión es inspirar confianza para lograr un mundo más resiliente"(British Standards Institution, 2014).

Dentro de su amplia trayectoria en la generación de normas internacionales, destaca la publicación de la **Norma BS EN 15628:2014**, titulada "Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel". Esta norma establece los requisitos de cualificación para el personal de mantenimiento, estructurando los conocimientos, habilidades y competencias en tres niveles jerárquicos: personal operativo, supervisores y gestores o ingenieros de mantenimiento.

Cada nivel está asociado a grados académicos y años mínimos de experiencia práctica, en correspondencia con el Marco Europeo de Cualificaciones (EQF). Esta estructura busca garantizar la coherencia entre la formación teórica, la experiencia profesional y las responsabilidades asumidas dentro de las funciones de mantenimiento. A continuación, se presenta una síntesis de dichos niveles de cualificación, extraída de la norma mencionada.

Profesionales	Técnico en Mantenimiento	Supervisor de Mantenimiento	Gestor o Ingeniero de Mantenimiento
Nivel (EQF) o equivalente	Nivel 4–5	Nivel 5–6	Nivel 6–7
Tiempo requerido de formación teórica y práctica (en el puesto de trabajo)	Al menos dos años de experiencia en mantenimiento.	Al menos tres años de experiencia en mantenimiento ^a , o personal ya calificado como técnico con dos años adicionales de experiencia, o licenciados con al menos dos años de experiencia.	Graduados con al menos cinco años de experiencia en mantenimiento (operación + gestión + ingeniería de mantenimiento).
<i>Durante el desarrollo profesional de un gestor de mantenimiento, es necesario incluir al menos dos años de experiencia en liderazgo de equipos o gestión de personal, con responsabilidad directa sobre funciones o servicios de mantenimiento.</i>			
^a Los diplomas, títulos y grados deben corresponder a ciencias e ingeniería, en programas con un número suficiente de créditos dedicados al desarrollo y fortalecimiento de competencias en mantenimiento.			

Tabla 1: *Descripción general de los requisitos esenciales de formación y experiencia (BS EN 15628:2014).*

Fuente: “*Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel*” (BS EN 15628:2014).

La norma destaca que la adecuada cualificación del personal de mantenimiento es un factor crítico para asegurar la confiabilidad de los sistemas productivos, la infraestructura y las plantas industriales (British Standards Institution, 2014). Asimismo, proporciona un marco que facilita la certificación profesional, la movilidad laboral y el desarrollo continuo de competencias, alineándose con las directrices del EQF.

Su implementación busca estandarizar la formación y el reconocimiento de competencias técnicas en diversos sectores productivos, promoviendo mejores prácticas de mantenimiento y reduciendo los riesgos operativos derivados de fallos o deficiencias en los sistemas.

1.1.2. Marco de Cualificación Minero 2019 (MCM)

El MCM 2019 se inserta en el Marco de Cualificaciones Técnico-Profesional (MCTP) chileno, concebido para articular formación y trabajo: “El MCTP... acerca el mundo de la formación y del trabajo articulando rutas formativas y laborales” (Ministerio de Educación de Chile, 2017). Además, se asume como “un instrumento vivo que debe ser actualizado periódicamente” (Ministerio de Educación de Chile, 2017). Condición clave para reflejar las rápidas transformaciones tecnológicas y las necesidades sectoriales del país.

MCM fue desarrollado en Chile por el Consejo de Competencias Mineras (CCM) en conjunto con ChileValora, y formalizado en el año 2019. Según el concejo, este instrumento *“tiene*

como propósito articular los perfiles laborales con los requerimientos reales de la industria, facilitando la empleabilidad, la formación continua y el reconocimiento de las competencias adquiridas" (Consejo de Competencias Mineras, 2019).

El MCM estructura las competencias laborales en cinco niveles progresivos, comenzando con operarios básicos, culminando en especialistas y expertos técnicos. Cada nivel integra competencias técnicas específicas, competencias conductuales, y competencias transversales vinculadas a las nuevas exigencias de la minería moderna, tales como la automatización, la analítica avanzada y la gestión sustentable de procesos.

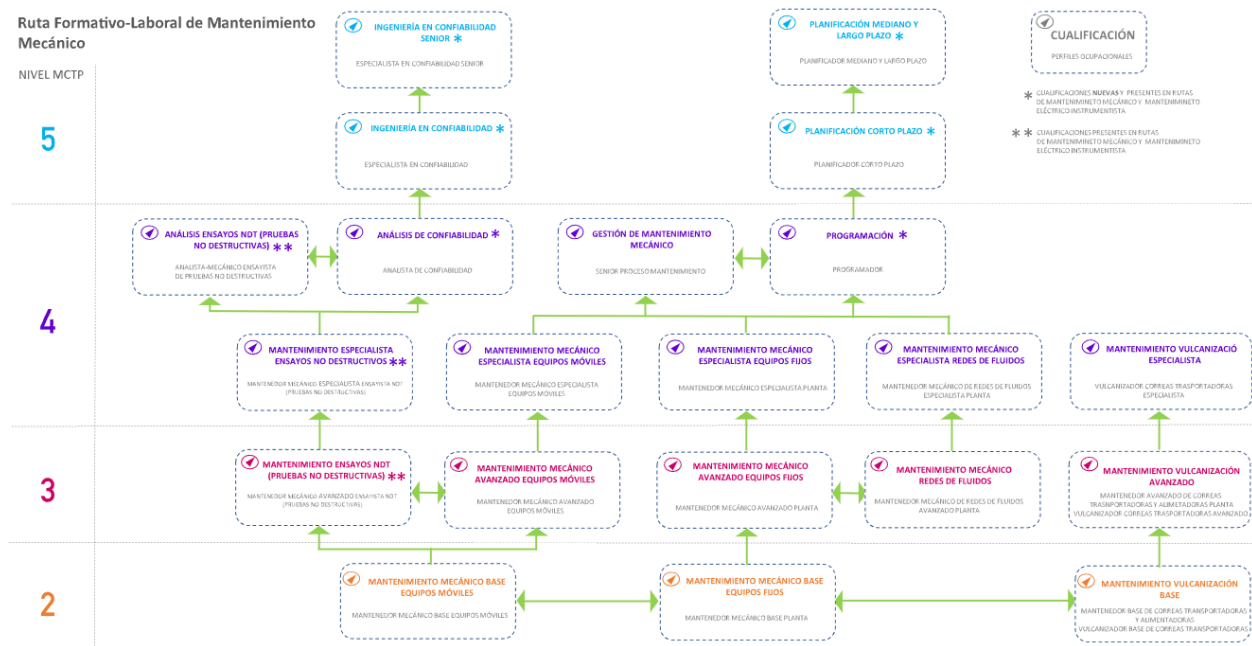


Figura 1: Ejemplo Oferta Formativa para Mantenimiento Mecánico, nivel 1 no aplica.

Fuente: (Consejo de Competencias Mineras (CCM) y Programa Eleva, 2025)

De acuerdo con el documento oficial, el MCM "pretende fortalecer la formación y certificación del capital humano de la minería, considerando las tendencias globales de digitalización y transformación tecnológica" (Consejo de Competencias Mineras, 2019).

Esta estructura permite reconocer de manera formal los aprendizajes adquiridos tanto en la formación académica como en la experiencia laboral, aportando así a la movilidad laboral, a la reducción de brechas de competencias y a la profesionalización del sector minero chileno en línea con los desafíos de la industria 4.0.

1.2. Caso de Investigación

La presente investigación se enmarca en el análisis comparativo entre dos marcos de cualificación de relevancia estratégica para el sector industrial la Norma BS EN 15628:2014 y MCM. Ambos instrumentos definen estándares de formación y certificación del personal de mantenimiento, aunque desde perspectivas y contextos diferentes.

La Norma BS EN 15628:2014 establece un modelo de cualificación con alcance internacional, aplicable a diversos sectores productivos, cuyo propósito es asegurar que el personal de mantenimiento disponga de las competencias técnicas y organizacionales necesarias para mantener la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los activos. Su estructura contempla tres niveles jerárquicos: personal operativo, supervisores y gestores o ingenieros, estableciendo para cada uno las competencias mínimas requeridas para un desempeño eficiente y seguro. (British Standards Institution, 2014)

Por otro lado, el Marco de Cualificaciones Minero 2019, responde a una necesidad específica del contexto chileno, fortalecer la formación técnica del capital humano en la minería, sector que representa un pilar económico fundamental para el país. Este marco ordena los perfiles laborales del sector minero en cinco niveles de cualificación, incorporando no solo competencias técnicas, sino también competencias conductuales y transversales, en respuesta a los desafíos que plantea la minería 4.0.

El caso de investigación planteado consiste en analizar de manera sistemática las similitudes, diferencias y oportunidades de mejora que existen entre ambos marcos, con el fin de evaluar su pertinencia para la formación y certificación del personal de mantenimiento en la industria minera chilena. La elección de estos dos instrumentos responde a su complementariedad: mientras uno representa un estándar internacional consolidado, el otro constituye una iniciativa sectorial específica adaptada a la realidad productiva nacional.

El análisis se orientará a responder las siguientes preguntas:

- ¿Qué nivel de alineación existe entre las competencias definidas por la Norma BS EN 15628:2014 y las planteadas por el MCM?
- ¿Qué brechas de formación y certificación pueden ser identificadas al contrastar ambos modelos?
- ¿Qué oportunidades de mejora surgen para optimizar los procesos de formación y certificación del personal técnico en mantenimiento minero?

1.3. Contexto General

El contexto laboral chileno refuerza la pertinencia del análisis comparativo. El Consejo de Competencias Mineras and Eleva (2023) proyecta que se estima una robusta demanda de más 34.000 nuevos talentos para los próximos diez años. En inclusión, la participación femenina en la industria llega a 15 %, según Consejo de Competencias Mineras and Eleva (2023), muestra avances con

desafíos de cierre de brechas. En competencias digitales, se reporta que “44 % de los participantes consideró insuficientes las competencias digitales de los operadores/as” (Consejo de Competencias Mineras and Eleva, 2023), evidenciando brechas formativas críticas para mantenimiento.

La gestión del mantenimiento industrial ha cambiado notablemente en los últimos años. Lo que antes era una tarea reactiva, centrada en reparar fallas a medida que ocurrían, hoy es una actividad estratégica que busca asegurar la disponibilidad, confiabilidad y vida útil de los equipos. Los avances tecnológicos, la transformación digital y la necesidad de mejorar continuamente la eficiencia de los procesos, han hecho que se eleve el nivel de conocimientos y habilidades que deben tener los trabajadores de mantenimiento, exigiendo programas de formación más estructurados y sistemas de certificación basados en competencias claras.

En el caso de la minería, que representa una parte fundamental de la economía chilena, los desafíos en mantenimiento son aún mayores. De acuerdo con el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) (2023), la actividad minera aportó un 11,9 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, consolidándose como uno de los pilares estructurales del desarrollo económico del país. A su vez, según estimaciones de la Sociedad Nacional de Minería (SONAMI) (2025), el sector genera aproximadamente 280 000 empleos directos y 620 000 empleos indirectos, reflejando su relevancia no solo en la producción, sino también en la creación de oportunidades laborales y en la dinamización de otras industrias vinculadas. Estas cifras evidencian la magnitud del sector y justifican la necesidad de contar con técnicos y profesionales altamente calificados para mantener la continuidad operacional y los estándares de seguridad exigidos por la industria.

Con el objetivo de dar respuesta a estas necesidades, se han desarrollado distintos marcos normativos y de cualificación. A nivel internacional, la Norma BS EN 15628:2014 propone un esquema organizado de competencias para el personal de mantenimiento, clasificándolas en distintos niveles de responsabilidad y ofreciendo una base para la certificación profesional. En el ámbito nacional, el MCM 2019 busca ordenar los aprendizajes técnicos y laborales, adaptándolos a lo que requiere actualmente el sector minero en Chile.

Comparar ambos marcos resulta fundamental para detectar coincidencias, diferencias y posibles mejoras que permitan fortalecer los procesos de formación y certificación de técnicos en mantenimiento. Este análisis no solo contribuirá a actualizar las prácticas actuales, sino también a preparar mejor al capital humano para enfrentar los cambios que trae consigo la minería 4.0, donde tecnologías como la automatización, el análisis de datos y la inteligencia artificial tendrán cada vez un papel más importante.

1.3.1. Panorama Actual de la Profesionalización del Mantenimiento Minero Chileno

Según un informe reciente de Alianza CCM-Eleva (2025), la demanda se concentra en perfiles híbridos que combinan conocimientos técnicos con habilidades digitales, adaptabilidad y competencias de sostenibilidad. Además, un análisis de Universidad Adolfo Ibáñez (UAI) (2025) advierte que la formación técnica tradicional está quedando atrás debido a los avances tecnológicos acelerados en la industria minera chilena, lo que obliga a incorporar de forma urgente habilidades blandas, digitales y de gestión sostenible del mantenimiento.

La digitalización redefine las competencias de mantenimiento. En Chile, “la interoperabilidad y la disponibilidad de crecientes volúmenes de datos, abren la oportunidad de acercarse a lo que ya se conoce como Mantenimiento 4.0” (Fundación Chile, 2021). Este tránsito demanda que “las personas deberán mejorar sus competencias en el uso de Tecnologías Digitales” (Fundación Chile, 2021), coherente con la gestión de activos que busca “la deseada combinación de costo, riesgo y desempeño”, International Organization for Standardization (2014) en contextos de alta criticidad.

1.3.2. Tasa de Profesionales en Mantenimiento Minero

A partir del Estudio de Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena 2021–2030, reportado por Fortega (2024) a partir de información publicada por la Pontificia Universidad Católica de Chile, se proyecta una demanda de más de 34.000 nuevos trabajadores en la próxima década, de los cuales un 55 % corresponde a perfiles del área de mantenimiento, lo que equivale aproximadamente a 18.700 personas. Si bien la oferta formativa en minería alcanzó solo 25.700 personas en 2018, esta cifra incluye la totalidad de las especialidades mineras, sin diferenciar perfiles técnicos específicos en mantenimiento.

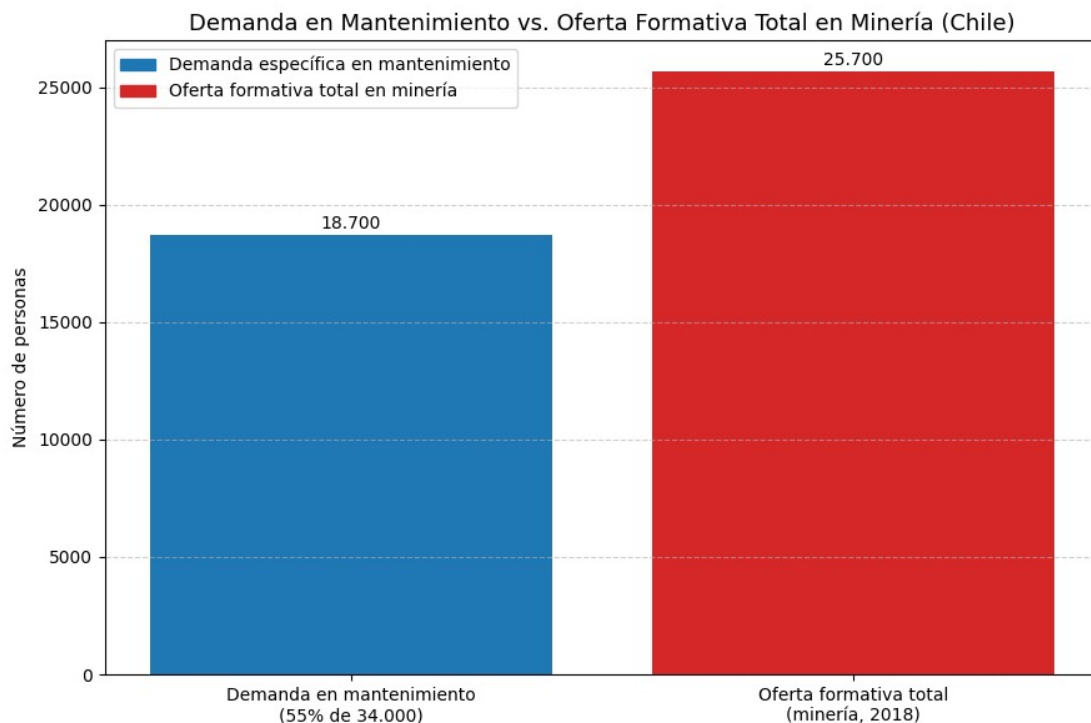


Figura 2: *Demanda vs Oferta del personal de mantenimiento.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

Esta discrepancia evidencia una posible brecha formativa, ya que la oferta general no garantiza la cobertura de la demanda proyectada en mantenimiento. Lo anterior refuerza la necesidad

de contar con marcos normativos robustos, actualizados y sectorialmente pertinentes, que aseguren la alineación entre la formación técnico-profesional y las necesidades reales de la industria.

1.3.3. Brechas Formativas en Capital Humano

Según Tierra Amarillano (2023), a partir del Estudio de Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena 2023–2032 desarrollado por la Alianza CCM-Eleva, se proyecta que la industria minera requerirá más de 18.000 nuevos talentos en el área de mantenimiento durante la próxima década. De estos perfiles aparecen:

- **Mantenedores instrumentistas:** 503 personas.
- **Mantenedores electromecánicos:** 894 personas.
- **Mantenedores eléctricos:** 1.853
- **Profesionales de mantenimiento (Supervisores, Ingenieros, Gestores):** 5.091
- **Mantenedores mecánicos:** 10.340 personas.

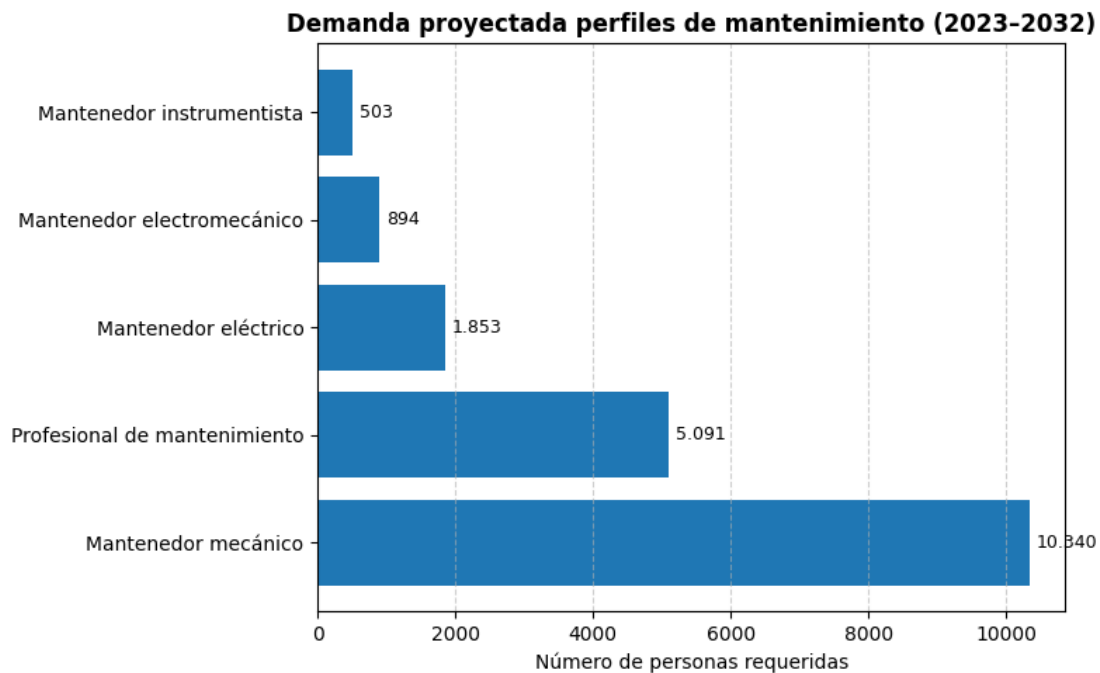


Figura 3: *Proyecciones del Personal de Mantenimiento para el año 2032 en base al estudio (Consejo de Competencias Mineras and Eleva, 2023).*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

El mismo estudio destaca que, además de las competencias técnicas específicas, la industria minera está demandando habilidades adicionales que actualmente presentan brechas significativas en la formación de los trabajadores:

- **Competencias digitales:** Manejo de tecnologías emergentes, automatización y análisis de datos.
- **Competencias conductuales y transversales:** Trabajo en equipo, resolución de problemas, adaptabilidad y comunicación efectiva.
- **Conocimiento en sostenibilidad y eficiencia energética:** Debido a la creciente importancia de la minería verde y responsable.

Estas brechas indican que la formación actual no está completamente alineada con las necesidades del sector, especialmente en el contexto de la transformación digital y la industria 4.0.

1.4. Proyecciones de Fuerza Laboral

La minería chilena, constituye un sector estratégico para el desarrollo económico y social del país, y su sostenibilidad depende en gran medida de la disponibilidad de capital humano calificado en mantenimiento. Tal como se analiza en la sección 1.3.2, la **Figura 2** muestra la relación entre la demanda y la oferta formativa en mantenimiento minero, evidenciando una brecha considerable entre las necesidades del sector y la capacidad actual del sistema educativo.

Esta tendencia se refuerza en la **Figura 3**, donde se proyecta la distribución del personal requerido por perfil ocupacional, destacando la urgencia de fortalecer los procesos de formación y certificación de competencias técnicas y digitales. Disponer de marcos de cualificación actualizados resulta esencial para orientar la formación de técnicos y profesionales que respondan a las demandas tecnológicas y operativas de la minería moderna.

La transición hacia la minería 4.0 ha puesto de relieve la importancia de competencias transversales que permitan a los trabajadores adaptarse a entornos productivos digitalizados. El Modelo de Competencias Transversales para la Minería 4.0, identifica habilidades clave como el manejo de herramientas digitales, la capacidad de trabajo colaborativo, la adaptabilidad y la resolución de problemas, todas ellas necesarias para enfrentar escenarios de creciente automatización y digitalización, según lo indica la fuente Minero y Chile (2021). Este marco constituye una referencia fundamental para orientar tanto a instituciones educativas como a empresas en la preparación de sus trabajadores.

Pese a estos avances, la adopción de tecnologías 4.0 en la minería chilena ha sido gradual y heterogénea. Un estudio reciente indica que si bien algunas compañías han comenzado a implementar soluciones digitales como sistemas de monitoreo y análisis de datos, aún existen importantes barreras, especialmente en pequeñas y medianas empresas, que requieren respaldo institucional para avanzar hacia un cambio tecnológico sostenible (Castillo-Vergara et al., 2024). Este hallazgo refuerza la necesidad de articular marcos de cualificación con políticas de innovación y desarrollo tecnológico.

La dimensión territorial de la minería chilena, también debe ser considerada en el diseño de políticas. La región de Antofagasta, núcleo productivo de la gran minería, enfrenta retos vinculados

a la sostenibilidad, el desarrollo urbano y la inclusión social. Según la OECD (2023), la formación y actualización de competencias en minería no solo impacta en la productividad, sino que también constituye una herramienta para mejorar el bienestar regional y reducir brechas de desarrollo. En este sentido, el personal de mantenimiento debe ser visto no solo como un desafío técnico, sino también como una oportunidad para avanzar en cohesión social y territorial.

Formación Técnica - Matrícula y Titulación en Especialidades Mineras

Según el Estudio de Fuerza Laboral de la Gran Minería Chilena (2023–2032), elaborado por el Consejo de Competencias Mineras and Eleva (2023), la matrícula en programas relacionados con la minería ha mostrado fluctuaciones en la última década. En 2012, las matrículas alcanzaron las 19.000 personas, mientras que en 2022 se registraron 23.800 matriculados. Sin embargo, la participación de mujeres en estos programas ha aumentado, pasando del 10 % en 2012 al 13 % en 2022.

Según el mismo estudio. En 2012, el 57 % de los estudiantes titulados lo hicieron de manera oportuna, cifra que aumentó al 66 % en 2021. Este incremento indica una mejora en la eficiencia del sistema formativo, aunque aún persisten desafíos para alcanzar niveles óptimos de titulación. (Consejo de Competencias Mineras and Eleva, 2023)

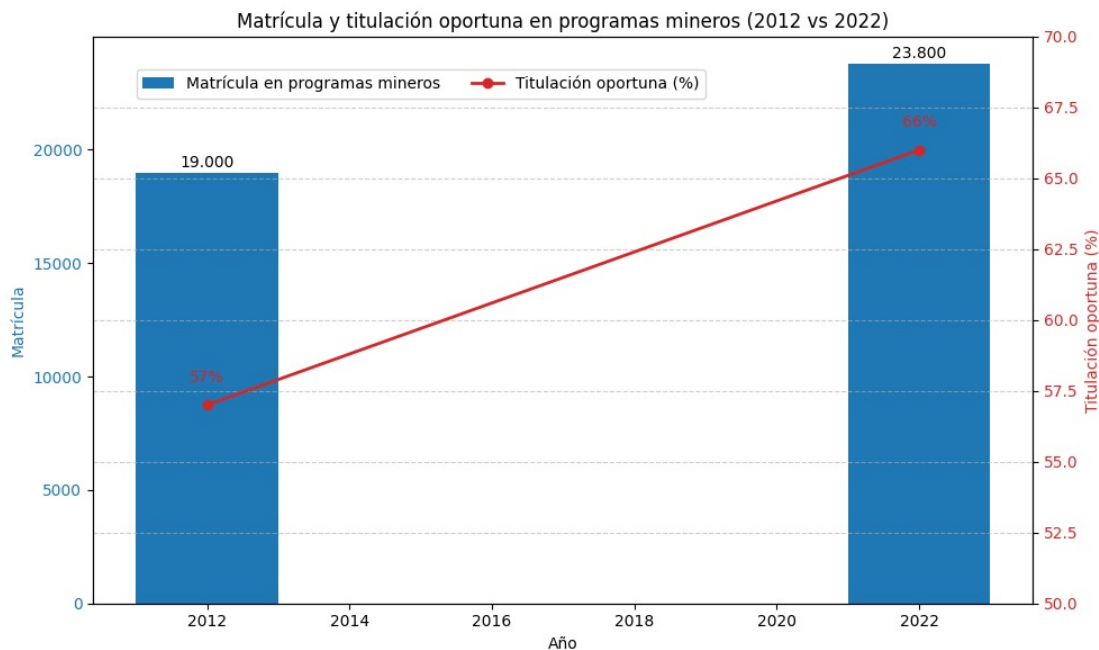


Figura 4: *Diferencias de titulaciones en los años 2012 y 2022.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

1.5. Problema de Investigación y Motivación del Estudio

En los últimos años, distintas instituciones han impulsado iniciativas para mejorar la formación y certificación del personal técnico en mantenimiento. Sin embargo, en la práctica, todavía se observan brechas importantes entre lo que la industria necesita y lo que actualmente ofrecen los sistemas formativos y de certificación. Esto se hace especialmente evidente en sectores como la minería, donde la tecnología avanza rápido y se requieren trabajadores cada vez más capacitados.

No actualizar cualificaciones implica riesgos operacionales y estratégicos. La gestión de activos exige “gestionar el riesgo y la oportunidad, para lograr el equilibrio deseado entre costo, riesgo y desempeño”, International Organization for Standardization (2014). En la minería chilena, la evidencia de brechas digitales en operadores y mantenedores según Consejo de Competencias Mineras and Eleva (2023), tensiona ese equilibrio, con impacto potencial en seguridad, disponibilidad y costos.

Uno de los principales desafíos es que muchos técnicos que ya se desempeñan en mantenimiento, no cuentan con formación formal alineada a los perfiles que exigen los nuevos procesos productivos. Además, aunque existen marcos normativos y propuestas para ordenar las competencias, como la Norma BS EN 15628:2014 y el MCM 2019, su aplicación aún es limitada o no está completamente integrada a la realidad formativa y laboral del país.

En el caso específico de la minería, esta situación preocupa aún más, considerando que es una industria clave para Chile y que demanda cada vez más profesionales preparados en áreas como automatización, mantenimiento predictivo y tecnologías digitales. A pesar de los esfuerzos por mejorar, todavía no hay una conexión clara y efectiva entre la formación que se entrega y las competencias que realmente se requieren en terreno. (Consejo de Competencias Mineras y Alianza Eleva, 2023)

Por eso, este análisis busca comparar ambos marcos de cualificación para que estén alineados con las necesidades reales del sector y qué aspectos podrían mejorarse. La idea es aportar con una mirada crítica que permita fortalecer la formación y certificación de técnicos en mantenimiento, y así contribuir a una minería más eficiente, segura y moderna.

Para enmarcar el caso Chile–Europa, se consideran referentes internacionales. España estableció el MECU: “El presente real decreto establece el Marco Español de Cualificaciones para el Aprendizaje Permanente (MECU)” (Gobierno de España, 2022), con “estructura... en ocho niveles” (Gobierno de España, 2022). En Alemania, “the national higher education framework has been attached to the German Qualifications Framework (DQR) and is therefore a component of the latter” (German Rectors’ Conference (HRK), 2017). Australia define el AQF como “the national policy for regulated qualifications in Australian education and training” (Australian Qualifications Framework Council, 2013). Estos lineamientos permiten situar la comparación BS EN 15628–MCM en una cartografía más amplia de cualificaciones.

1.6. Análisis Propuesto

El análisis de los marcos de cualificación revisados evidencia que la principal brecha del mantenimiento en la minería chilena no radica solo en la cantidad de personal disponible, sino en la desarticulación entre la formación técnica y las competencias efectivamente requeridas en terreno. Mientras la norma BS EN 15628:2014 entrega una estructura estandarizada y de alcance internacional, el Marco de Cualificación Minero (MCM 2019) busca responder a un contexto sectorial con demandas tecnológicas y operativas propias. Esta dualidad revela la necesidad de evaluar comparativamente ambos marcos bajo criterios que permitan determinar su grado de convergencia y complementariedad, considerando aspectos como la estructura formativa, los tipos de competencias, la pertinencia sectorial, la certificación, la flexibilidad tecnológica y la mejora continua. De esta forma, el capítulo siguiente se orienta a establecer una base metodológica que traduzca estas diferencias en un marco analítico que aporte a la profesionalización y modernización del mantenimiento en la industria minera.

La propuesta permite establecer una base comparativa inicial que orienta la estructura metodológica del estudio. La **Tabla 2** sintetiza las dimensiones clave de ambos marcos, mostrando que la BS EN 15628:2014 entrega una visión estandarizada y multisectorial útil para la movilidad internacional del personal de mantenimiento, mientras que el MCM 2019 destaca por su pertinencia sectorial, al incorporar competencias digitales, conductuales y transversales específicas de la minería chilena. Estas diferencias justifican un abordaje comparativo más profundo en los capítulos siguientes, donde se analizan seis criterios técnicos —estructura, tipos de competencias, pertinencia sectorial, vinculación con certificación, adaptación tecnológica y mejora continua, aplicados bajo el ciclo PHVA.

Dimensión de Análisis	Norma BS EN 15628:2014	MCM 2019	Observación preliminar
Estructura jerárquica	3 niveles: Técnico, Supervisor, Ingeniero	5 niveles progresivos, desde operativo básico hasta expertos técnicos	MCM mayormente adaptado al sector minero
Tipo de competencias	Técnicas y organizacionales	Técnicas transversales y conductuales	MCM incorpora un enfoque más integral
Enfoque geográfico	Internacional	Nacional	Diferencias importantes de contexto y alcance
Aplicabilidad sectorial	Multisectorial	Sector minero	Complementarios, no excluyentes
Vinculación con certificación	Alineado con EQF y certificaciones profesionales	Integrado a ChileValora y formación técnica nacional	Ambos fomentan certificación
Énfasis tecnológico	Adaptación a industria 4.0	Alta consideración de automatización y digitalización	MCM enfatiza desafíos actuales

Tabla 2: *Propuesta de análisis comparativo entre Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificación Minero 2019.*

El examen de los marcos que se revisaran permite identificar que la brecha formativa en mantenimiento no solo responde a una falta de capital humano, sino a una desalineación estructural entre la oferta formativa y las competencias demandadas por la minería moderna. La norma BS EN 15628:2014 aporta una estructura jerárquica clara y una clasificación internacional de perfiles basada en competencias técnicas y responsabilidades, mientras que el MCM, enfatiza la pertinencia sectorial y la vinculación con la realidad productiva chilena.

No obstante, ambos difieren en su capacidad de adaptación tecnológica, en los mecanismos de certificación y en la incorporación de procesos de mejora continua, lo que plantea interrogantes sobre su complementariedad y alcance práctico. Por ello, el estudio avanza hacia un análisis comparativo sustentado en seis criterios derivados del marco teórico, sección 2.7: (A) estructura y niveles formativos, (B) tipos de competencias, (C) pertinencia sectorial, (D) mecanismos de certificación, (E) flexibilidad tecnológica y (F) enfoque de mejora continua. Esta articulación permite enlazar la problemática detectada con un modelo analítico sistemático, orientado a evaluar en qué medida ambos marcos contribuyen a la profesionalización, movilidad y sostenibilidad del mantenimiento en la minería chilena.

En síntesis, el marco teórico propuesto no solo permite comparar dos sistemas de cualificación distintos, sino también proyectar lineamientos para el fortalecimiento del capital humano y la gestión del mantenimiento en la minería chilena.

2. Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Introducción

Este capítulo presenta los fundamentos conceptuales y normativos que sustentan el análisis comparativo de cualificaciones del personal de mantenimiento. Se revisan la evolución y profesionalización del mantenimiento, los principales modelos de gestión asociados y los marcos normativos seleccionados como objeto de estudio.

2.2. Evolución y Rol Estratégico del Mantenimiento

Históricamente, el mantenimiento fue concebido como una actividad secundaria y meramente reactiva, orientada a la reparación de equipos tras la ocurrencia de fallas. Este enfoque correctivo, dominante hasta mediados del siglo XX, generaba interrupciones inesperadas, altos costos operativos y una limitada visión sobre el ciclo de vida de los activos (Parra Márquez, C. A. and Crespo Márquez, A., 2007). Sin embargo, la creciente complejidad tecnológica de los sistemas productivos, junto con las exigencias de competitividad, confiabilidad y sostenibilidad, impulsaron una transformación profunda en el enfoque del mantenimiento.

A partir de la década de 1970, con el auge de la producción automatizada y el pensamiento japonés en gestión de calidad, emergen nuevas filosofías como el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Estas corrientes introducen una visión proactiva y estratégica, en la que el mantenimiento no solo previene fallas, sino que maximiza la disponibilidad de los activos, extiende su vida útil y contribuye directamente al logro de los objetivos organizacionales (Mobley, 2002) (Moubray, 1997).

Actualmente, el mantenimiento es reconocido como un proceso clave dentro de la gestión de activos físicos, cuya efectividad impacta en áreas críticas como la productividad, la seguridad operacional, la calidad del producto y la sustentabilidad ambiental (International Organization for Standardization, 2014). Esta evolución ha implicado también una profesionalización de los roles asociados, demandando competencias técnicas, habilidades de gestión, y capacidades de adaptación a tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), el mantenimiento predictivo basado en inteligencia artificial, y los sistemas de monitoreo en tiempo real (European Committee for Standardization, 2014).

En este contexto, el mantenimiento ya no puede ser concebido como una función aislada, sino como un componente estratégico del sistema de gestión empresarial, cuyo éxito requiere alineación con la planificación organizacional, una cultura de mejora continua y una fuerza laboral cualificada y certificada (Parra Márquez, C. A. and Crespo Márquez, A., 2007) (Ministerio de Educación y ChileValora, 2019).

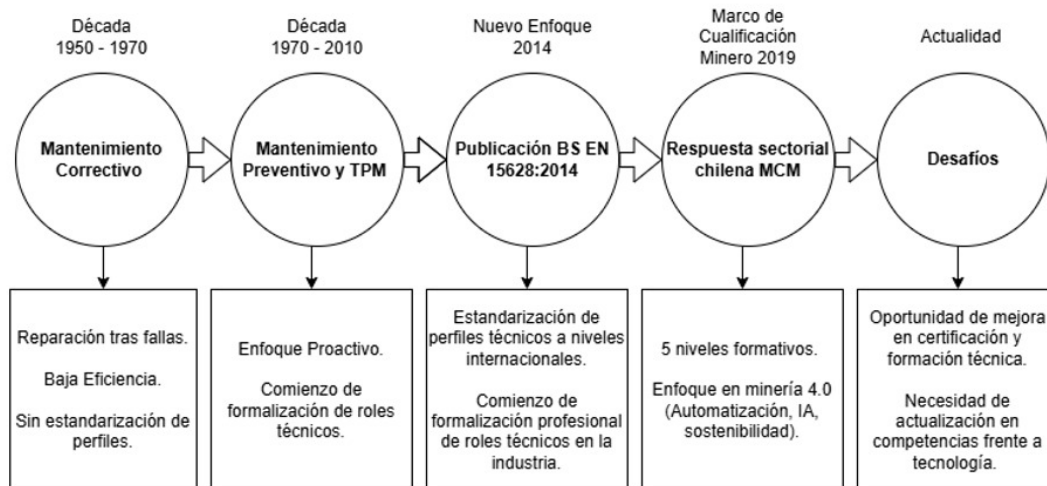


Figura 5: Línea temporal de la evolución del mantenimiento.

Fuente: *Elaboración propia en Draw.io*

La línea temporal de la **Figura 5** evidencia la evolución del mantenimiento desde un enfoque reactivo y correctivo hacia uno proactivo y estratégico, asociado a la gestión de activos y la profesionalización de los perfiles técnicos. La publicación de la norma BS EN 15628:2014 marcó un punto de inflexión al introducir criterios de estandarización internacional de competencias, mientras que el MCM 2019, representó la respuesta sectorial chilena, orientada a la minería 4.0, la sostenibilidad y la automatización. En la actualidad, persisten desafíos vinculados con la actualización de competencias técnicas y la certificación profesional, aspectos esenciales para mantener la competitividad del mantenimiento frente al avance tecnológico.

2.2.1. Relación entre Enfoque del Mantenimiento y la Profesionalización Técnica

A lo largo del tiempo, cada cambio en el enfoque del mantenimiento ha venido acompañado de una mayor exigencia en cuanto al perfil del personal técnico. No es lo mismo reparar una bomba mecánicamente en los años 60 que diagnosticar una falla en tiempo real a través de sensores y análisis predictivo. Esta transformación ha obligado a que los técnicos y profesionales del área no solo dominen lo operativo, sino que además comprendan sistemas complejos, manejen software especializado, y se adapten a nuevas tecnologías como la inteligencia artificial o la automatización avanzada.

Para visualizar esta evolución, se presenta a continuación la **Figura 6** que muestra cómo ha ido cambiando el enfoque dominante en mantenimiento por década, junto con el nivel estimado de profesionalización requerido para cada etapa.

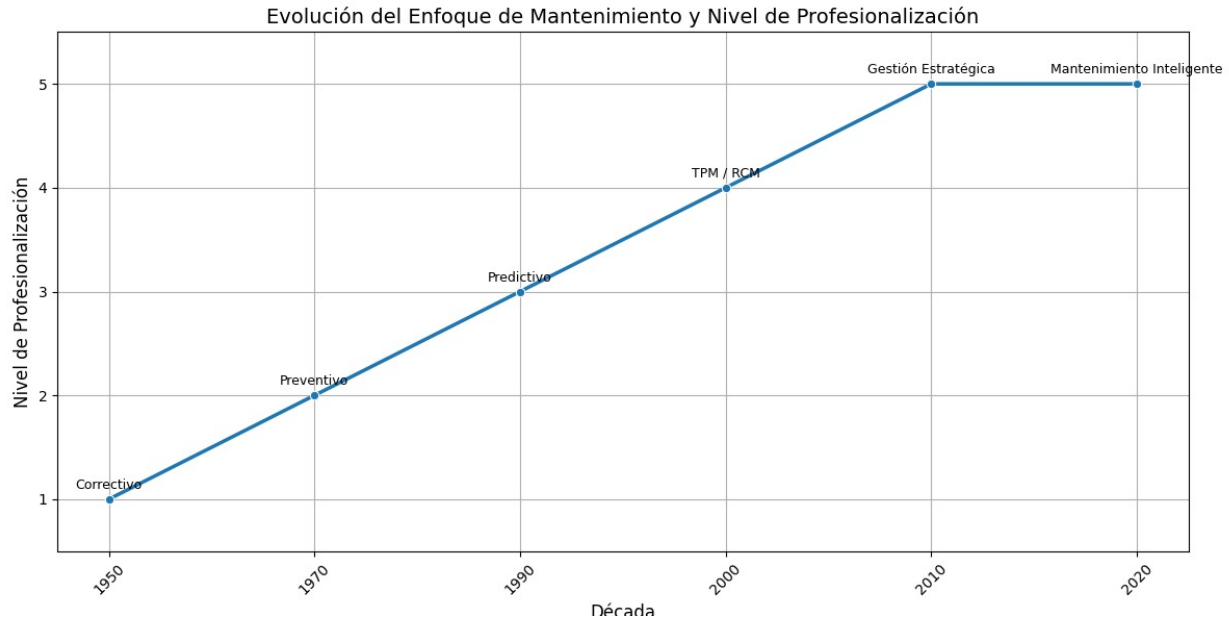


Figura 6: *Evolución del enfoque de mantenimiento y su nivel de profesionalización.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

La **Figura 6** representa la progresión del mantenimiento desde un enfoque reactivo y correctivo hacia un modelo inteligente y estratégico, evidenciando un aumento sostenido en el nivel de profesionalización a lo largo de las décadas. Este crecimiento refleja la incorporación gradual de prácticas como el mantenimiento preventivo, predictivo y basado en confiabilidad (RCM), que han permitido transitar desde la simple reparación de fallas hacia la gestión integral de activos. En la actualidad, el mantenimiento inteligente, apoyado en analítica de datos, automatización y aprendizaje automático, consolida una visión más proactiva y adaptable, donde la toma de decisiones se orienta al rendimiento, la sostenibilidad y la eficiencia operativa.

La norma BS EN 15628:2014 mantiene una estrecha relación con la UNE-EN 13306:2010 — Maintenance Terminology, citada como referencia normativa en su propio contenido (European Committee for Standardization (CEN), 2010). Esta relación permite asegurar la coherencia conceptual entre la definición general de mantenimiento y la descripción de las competencias necesarias para su gestión. Mientras la UNE-EN 13306:2010 establece la terminología base y los principios técnicos del mantenimiento, la BS EN 15628:2014 traduce esos conceptos al ámbito de la cualificación profesional, determinando los requisitos de formación y experiencia que debe poseer el personal especializado en cada nivel jerárquico (British Standards Institution (BSI), 2014).

De manera más amplia, la BS EN 15628:2010 se vincula también con la serie internacional ISO 55000, que define los principios y la terminología de la gestión de activos, proporcionando una base común para la mejora continua y la eficiencia operativa de las organizaciones (International Organization for Standardization, 2014). De forma complementaria, la ISO 55002:2018 desarrolla directrices prácticas que destacan la importancia de garantizar la competencia del personal involucrado en la gestión de activos (International Organization for Standardization, 2018). Mientras

que la ISO 10015:2019 establece lineamientos específicos para la gestión de la competencia y el desarrollo del personal, reforzando la conexión entre capacitación, desempeño y calidad organizacional (International Organization for Standardization, 2019). Estas normas amplían el alcance de la BS EN 15628:2014 más allá del plano técnico, proyectándola como una herramienta estratégica para la profesionalización y mejora continua del capital humano en mantenimiento industrial.

A partir de estas referencias internacionales, las siguientes secciones 2.3, 2.4 y 2.5, examina cómo se adapta estos principios al contexto del mantenimiento y gestión de activos, integrando competencias técnicas y sectoriales específicas.

2.3. Enfoques y Modelos de Gestión del Mantenimiento

La evolución de la gestión del mantenimiento ha dado lugar a una amplia diversidad de enfoques que buscan optimizar la disponibilidad de los activos, reducir los costos de operación y aumentar la confiabilidad de los sistemas productivos. Estos enfoques no solo han transformado la forma en que se realizan las tareas técnicas, sino que también han promovido una integración más estrecha del mantenimiento con los objetivos estratégicos de la organización.

2.3.1. Mantenimiento Correctivo (MC)

Es el enfoque más básico y tradicional, consistente en intervenir únicamente después de que ocurre una falla. Si bien resulta útil en sistemas no críticos o de bajo costo, suele generar altos costos operacionales, pérdidas por detención no planificada y menor vida útil de los equipos. (Mobley, 2002). Este enfoque predominó hasta mediados del siglo XX.

2.3.2. Mantenimiento Preventivo (MP)

El mantenimiento preventivo surge como respuesta a las limitaciones del enfoque correctivo, introduciendo la idea de intervenir los equipos antes de que ocurra la falla, siguiendo una planificación basada en el tiempo o en el uso. Este enfoque busca reducir las paradas no programadas y prolongar la vida útil de los activos mediante inspecciones, reemplazos y ajustes periódicos (Kelly, 2006). Sin embargo, su aplicación rígida puede generar intervenciones innecesarias y mayores costos cuando no se ajusta a las condiciones reales de operación.

2.3.3. Mantenimiento Predictivo (PdM)

El mantenimiento predictivo incorpora técnicas de monitoreo y diagnóstico que permiten anticipar fallas mediante la medición continua de variables como vibración, temperatura o corriente eléctrica. Mobley (2002) describe que su principio fundamental consiste en actuar solo cuando los indicadores muestran desviaciones del comportamiento normal del equipo, lo que optimiza los recursos de mantenimiento y minimiza la pérdida de disponibilidad. Este enfoque integra tecnologías como análisis de aceite, ultrasonido o termografía para soportar decisiones más precisas.

2.3.4. Mantenimiento Basado en Condición (CBM)

El mantenimiento basado en condición representa una evolución del mantenimiento predictivo al apoyarse en sistemas automatizados y algoritmos que analizan en tiempo real el estado del activo. Según la International Organization for Standardization (2014), este enfoque utiliza instrumentación avanzada y procesamiento de datos para determinar el momento exacto en que se requiere una intervención, combinando sensorización con análisis estadístico y modelos de diagnóstico. Su implementación se asocia directamente con los principios de la Industria 4.0 y la gestión inteligente de activos.

2.3.5. Mantenimiento Proactivo (PAM)

El mantenimiento proactivo busca eliminar las causas raíz que originan las fallas, más que limitarse a reaccionar ante sus síntomas. Gits (1994), explica que este enfoque integra herramientas de análisis de causa raíz (RCA), confiabilidad operacional y control estadístico de procesos, orientándose hacia la mejora continua del diseño, la operación y el mantenimiento de los equipos. De esta forma, complementa los demás enfoques al incorporar la prevención desde la fase de ingeniería y diseño.

2.3.6. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

RCM, desarrollado originalmente en la industria aeronáutica, se enfoca en identificar funciones críticas de los activos, las consecuencias de sus fallas y seleccionar estrategias de mantenimiento que aseguren su desempeño. Este enfoque es altamente estructurado y toma decisiones basadas en análisis de modos de falla, criticidad y riesgo. Se considera una herramienta clave dentro de los sistemas de gestión de activos modernos. (Smith y Hinchcliffe, 2003), (International Organization for Standardization, 2014).

2.3.7. Modelos Integrales de Gestión del Mantenimiento

Más allá de las técnicas individuales, han surgido modelos que abordan la gestión del mantenimiento como un sistema integral, considerando aspectos técnicos, organizacionales, humanos y económicos. Tal es el caso del Modelo Integral de Gestión del Mantenimiento (MGM) propuesto por Parra y Crespo (2007), que estructura la gestión en cinco pilares: técnico, económico, organizacional, de recursos y de información. Este modelo busca alinear el mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa, mediante una visión sistémica, procesos estandarizados, y una cultura de mejora continua.

2.4. BS EN 15628:2014, Maintenance - Qualification of Maintenance Personnel

La norma BS EN 15628:2014, emitida por el Comité Europeo de Normalización (CEN), establece un marco para la definición de competencias del personal involucrado en las actividades de mantenimiento. Su propósito principal es servir como base para la formación, evaluación y

certificación de trabajadores técnicos, supervisores e ingenieros del área, promoviendo así la estandarización y profesionalización del mantenimiento a nivel europeo.

Esta norma se enmarca en el proceso de armonización técnica y profesional impulsado por la Unión Europea, en coherencia con el EQF, permitiendo la movilidad laboral y el reconocimiento transnacional de competencias en el ámbito industrial (European Committee for Standardization, 2014).



Figura 7: Estructura de niveles EQF utilizadas por la Maintenance — Qualification of Maintenance Personnel.

Fuente: (Instituto Internacional de Estudios en Seguridad Global (INISEG), 2023)

La **Figura 7** muestra la correspondencia entre los niveles del EQF y los perfiles definidos por la norma BS EN 15628:2014. Se observa que la norma considera únicamente los niveles 4 a 7 del EQF, al igual que se señala en la **Tabla 1**, los cuales abarcan desde técnicos y especialistas hasta gestores ó ingenieros de mantenimiento.

El nivel 8, correspondiente a la formación doctoral o de investigación avanzada según el EQF, no está contemplado en esta norma, ya que su alcance se limita a la cualificación profesional orientada a la práctica industrial y a la gestión operativa del mantenimiento, sin incluir competencias de generación de conocimiento científico o académico.

2.4.1. Estructura por Niveles

La BS EN 15628:2014 clasifica al personal de mantenimiento en tres niveles jerárquicos, cada uno con funciones específicas y competencias asociadas:

Técnico de Mantenimiento NIVEL 1:

- I. Responsable de ejecutar tareas operativas rutinarias de inspección, reparación y reemplazo de componentes.
- II. Requiere conocimientos técnicos aplicados, habilidades manuales, y capacidad para interpretar instrucciones técnicas.
- III. Trabaja bajo supervisión directa y con autonomía limitada.

Supervisor de Mantenimiento NIVEL 2:

- I. Coordinar equipos de técnicos, gestiona recursos, planifica tareas y supervisa el cumplimiento de los procedimientos de mantenimiento.
- II. Debe poseer competencias en liderazgo, gestión de recursos y control de calidad.
- III. Actúa como vínculo entre la operación técnica y la gestión.

Gestor ó Ingeniero de Mantenimiento NIVEL 3:

- I. Encargado del diseño, análisis y mejora continua de las estrategias de mantenimiento.
- II. Requiere formación profesional avanzada, competencias en diagnóstico de fallas, análisis de datos, evaluación de riesgos y toma de decisiones estratégicas .
- III. Participa activamente en procesos de innovación, implementación de nuevas tecnologías y alineamiento con los objetivos organizacionales.

2.4.2. Funciones y Aplicaciones

La norma no prescribe tareas específicas ni tecnologías particulares, sino que define funciones amplias que deben adaptarse a las realidades de cada industria.

- Diagnóstico y resolución de fallas.
- Gestión de documentación técnica.
- Aseguramiento de la calidad.
- Cumplimiento de normas de seguridad y medioambiente.
- Mejora continua en procesos de mantenimiento.

Esta estructura facilita la planificación de rutas formativas, la evaluación de brechas de competencias y la implementación de sistemas de certificación coherentes con los requerimientos del mercado.

2.4.3. Relevancia para la mano de obra calificada del Mantenimiento

La BS EN 15628:2014 representa un estándar de referencia para organizaciones que desean fortalecer su gestión del mantenimiento desde una perspectiva estructurada y basada en competencias. Su enfoque permite:

- Comparar perfiles laborales entre países e industrias.
- Diseñar programas de formación técnica alineados con necesidades reales.
- Validar conocimientos mediante procesos formales de certificación.
- Mejorar la eficiencia y confiabilidad de los procesos productivos a través de personal calificado.

En el contexto chileno, esta norma ofrece una base valiosa para analizar la alineación entre los perfiles locales propuestos por el MCM 2019 y los estándares internacionales de desempeño en mantenimiento.

2.5. Marco de Cualificación Minero (MCM 2019)

El MCM, por el CCM y apoyado por ChileValora, es una herramienta orientada a articular la formación técnico-profesional con las necesidades del mundo laboral. Basado en un enfoque por competencias, su propósito es definir y ordenar los aprendizajes esperados, los niveles de autonomía, y las responsabilidades laborales que caracterizan a cada perfil ocupacional en función del sector productivo, (Ministerio de Educación y ChileValora, 2019).

Este marco busca, además, facilitar la movilidad formativa y laboral, mejorar la pertinencia de los programas de estudio técnico-profesional, y establecer estándares que permitan la certificación de competencias laborales, tanto en contextos formales como no formales.

Cada nivel del MCM se estructura en torno a tres dimensiones principales: habilidades, aplicación en contexto y conocimientos, que a su vez se desglosan en un total de 8 subdimensiones.

Tal como se ilustra en la **Tabla 3**, las subdimensiones (i) a (iv) corresponden al ámbito de las habilidades, abarcando aspectos como la gestión de la información, la resolución de problemas, el uso de recursos técnicos y la comunicación. Las subdimensiones (v) a (vii) se agrupan bajo la categoría de aplicación en contexto, incorporando competencias relacionadas con el trabajo colaborativo, la autonomía y la ética profesional. Finalmente, la subdimensión (viii) se asocia al dominio de los conocimientos, integrando la base teórica necesaria para el desempeño técnico.

Esta estructura permite caracterizar cada nivel de certificación del MCM de forma integral, combinando capacidades técnicas, cognitivas y actitudinales que sustentan la progresión formativa dentro del sector minero.

Dimensión	Subdimensiones
Habilidades	(i) Información (Habilidades cognitivas) (ii) Resolución de problemas (iii) Uso de recursos (Técnicas) (iv) Comunicación
Aplicación en contexto	(v) Trabajo con otros (vi) Autonomía (vii) Ética y responsabilidad
Conocimientos	(viii) Conocimientos

Tabla 3: Dimensiones y subdimensiones del Marco de Cualificación Minero (MCM).

Fuente: *Elaboración propia basada en el Marco de Cualificación Minero (Consejo de Competencias Mineras, 2019).*

DIMENSIONES	HABILIDADES				APLICACIÓN EN CONTEXTO		CONOCIMIENTOS	
Subdimensiones	Información (Habilidades Cognitivas)	Resolución de Problemas	Uso de Recursos (Técnicas)	Comunicación	Trabajo con Otros	Autonomía	Ética y Responsabilidad	Conocimientos
Niveles	RESULTADOS DE APRENDIZAJE POR NIVEL Y SUBDIMENSIÓN							
1								
2								
3								
4								
5								

Figura 8: La matriz del Marco de Cualificaciones Técnico-Profesional, utilizada por el MCM.

Fuente: (Ministerio de Educación de Chile, 2017)

En la **Figura 1** se observa que el MCM no contempla el nivel 1 de competencias, dado que su estructura inicia desde la certificación de nivel 2 establecida por ChileValora.

Esta exclusión se debe a que el nivel 1 corresponde a funciones auxiliares o de apoyo que no requieren certificación formal dentro del ámbito minero. Sin embargo, este nivel no queda fuera del marco general, ya que se encuentra representado de manera indirecta mediante otras especialidades

complementarias del área minera, como operaciones básicas, servicios industriales y labores de apoyo logístico, que contribuyen al funcionamiento integral del mantenimiento.

En la **Figura 8**, este nivel será considerado dentro del análisis comparativo, con el fin de reflejar de manera más completa la progresión de la calificación de la mano de obra y su relación con los distintos perfiles laborales asociados al mantenimiento en la minería.

2.5.1. Estructura del MCM 2019

El MCM se organiza en cinco niveles de cualificación, los cuales describen progresivamente la complejidad de las tareas, la autonomía en la ejecución, y la capacidad para resolver problemas o tomar decisiones:

NIVEL 1:

- i. Comprende instrucciones básicas y acotadas para una tarea sencilla y específica.
- ii. Reconoce problemas simples, relacionados con el desarrollo de su tarea en contextos conocidos. Sigue instrucciones para resolver problemas en su trabajo.
- iii. Utiliza materiales, herramientas y equipamiento, básicos y sencillos, para realizar tareas acotadas no especializadas en contextos conocidos. Aplica mecánicamente un procedimiento para realizar una tarea específica.
- iv. cComunica y recibe información sobre una tarea específica de manera directa en un contexto conocido.
- v. Trabaja en labores de carácter individual, de acuerdo a pautas establecidas.
- vi. Se desempeña con autonomía en un rango acotado de tareas simples, en contextos conocidos y con supervisión constante. Toma decisiones básicas en relación a sus tareas que inciden en su propio quehacer. Observa y corrige el resultado final de su tarea específica cuando ésta es evaluada por otros. Busca oportunidades y redes para el desarrollo.
- vii. Actúa de acuerdo a las normas que guían la tarea que realiza. Responde por el cumplimiento de una tarea definida de acuerdo a parámetros establecidos. Reconoce los efectos de sus acciones sobre la salud propia y la de otros, el entorno y el medio ambiente. Actúa acorde al marco de sus conocimientos, experiencia y alcance de sus tareas.
- viii. Demuestra conocimientos básicos necesarios para el desempeño de una tarea específica.

NIVEL 2:

- i. Interpreta y utiliza información acotada para responder a las necesidades propias de sus tareas y actividades.
- ii. Reconoce problemas simples de acuerdo a parámetros establecidos en contextos conocidos propios de su actividad. Aplica soluciones a problemas simples en contextos conocidos y específicos de una tarea o actividad de acuerdo a parámetros establecidos.

- iii. Utiliza materiales, herramientas y equipamiento definidos para realizar actividades en contextos conocidos. Aplica procedimientos propios de una actividad de acuerdo a parámetros establecidos.
- iv. Trabaja colaborativamente en actividades de acuerdo a pautas establecidas en contextos conocidos.
- v. Se desempeña con autonomía en actividades específicas en contextos conocidos, con supervisión directa. Toma decisiones en actividades propias que solo inciden en su quehacer. Evalúa el proceso y el resultado de su actividad de acuerdo a parámetros establecidos, para mejorar sus prácticas. Busca oportunidades y redes para el desarrollo de sus capacidades.
- vi. Actúa de acuerdo a las normas y protocolos que guían su desempeño y reconoce el impacto que la calidad de su trabajo tiene sobre el proceso productivo o la entrega de servicios. Responde por el cumplimiento de los procedimientos y resultados de sus actividades. Comprende y valora los efectos de sus acciones sobre la salud y la vida, la organización, la sociedad y el medio ambiente. Actúa acorde al marco de sus conocimientos, experiencia y alcance de sus actividades y funciones.
- vii. Demuestra conocimientos específicos para el desempeño del conjunto de tareas, propias de su actividad.

NIVEL 3:

- i. Analiza y utiliza información de acuerdo a parámetros establecidos para responder a las necesidades propias de sus actividades y funciones. Identifica y analiza información para fundamentar y responder a las necesidades propias de sus actividades.
- ii. Reconoce y previene problemas de acuerdo a parámetros establecidos en contextos conocidos propios de su actividad o función. Detecta las causas que originan problemas en contextos conocidos de acuerdo a parámetros establecidos. Aplica soluciones a problemas de acuerdo a parámetros establecidos en contextos conocidos propios de una función.
- iii. Selecciona y utiliza materiales, herramientas y equipamiento para responder a una necesidad propia de una actividad o función especializada en contextos conocidos. Organiza y comprueba la disponibilidad de los materiales, herramientas y equipamiento. Identifica y aplica procedimientos y técnicas específicas de una función de acuerdo a parámetros establecidos.
- iv. Comunica y recibe información relacionada a su actividad o función, a través de medios y soportes adecuados en contextos conocidos.
- v. Trabaja colaborativamente en actividades y funciones coordinándose con otros en diversos contextos
- vi. Se desempeña con autonomía en actividades y funciones especializadas en diversos contextos con supervisión directa. Toma decisiones en actividades propias y en aquellas que inciden en el quehacer de otros en contextos conocidos. Evalúa el proceso y el resultado de sus actividades y funciones de acuerdo a parámetros establecidos para mejorar sus prácticas.

- vii. Actúa de acuerdo a las normas y protocolos que guían su desempeño y reconoce el impacto que la calidad de su trabajo tiene sobre el proceso productivo o la entrega de servicios. Responde por el cumplimiento de los procedimientos y resultados de sus actividades. Comprende y valora los efectos de sus acciones sobre la salud y la vida, la organización, la sociedad y el medio ambiente. Actúa acorde al marco de sus conocimientos, experiencia y alcance de sus actividades y funciones.
- viii. Demuestra conocimientos específicos de su área y de las tendencias de desarrollo para el desempeño de sus actividades y funciones.

NIVEL 4:

- i. Analiza críticamente y genera información de acuerdo a criterios y parámetros establecidos para responder a las necesidades propias de sus funciones. Evalúa la calidad de la información y elabora argumentos para la toma de decisiones en el ámbito de sus funciones.
- ii. Previene y diagnostica problemas complejos de acuerdo a parámetros establecidos en diversos contextos propios de un área de especialización. Genera, adapta y aplica soluciones a problemas complejos, propios de un área especializada en diversos contextos, de acuerdo a parámetros establecidos
- iii. Selecciona y utiliza recursos materiales y técnicas específicas para responder a una necesidad propia de una actividad o función especializada en diversos contextos. Planifica y administra recursos y la aplicación de procedimientos y técnicas. Aplica y evalúa operaciones, procedimientos y técnicas específicas de una función de acuerdo a parámetros establecidos e innovando para su optimización
- iv. Comunica y recibe información especializada de su área y otras afines, a través de medios y soportes adecuados en diversos contextos.
- v. Trabaja colaborativamente en funciones o procesos específicos de su área, coordinándose con equipos de trabajo en diversos contextos. Planifica y coordina equipos de trabajo en actividades propias de su área en diversos contextos.
- vi. Se desempeña con autonomía en actividades y funciones especializadas en diversos contextos afines a su área. Supervisa a otros en actividades y funciones propias de su área. Toma decisiones que inciden en el quehacer de otros, acordes a sus funciones y en diversos contextos. Evalúa el proceso y los resultados del quehacer propio y el de otros, de acuerdo a parámetros establecidos para retroalimentar las prácticas. Moviliza recursos para la actualización de sus conocimientos y habilidades para su desarrollo profesional.
- vii. Actúa de acuerdo a las normas y protocolos que guían su desempeño y reconoce el impacto que la calidad de su trabajo tiene sobre el proceso y la organización. Responde por el cumplimiento de los procedimientos y resultados de sus acciones y de otros, de acuerdo a sus funciones. Comprende y valora las implicancias de sus acciones sobre la salud y la vida, la organización, la sociedad y el medio ambiente. Actúa y guía a otros de acuerdo a sus conocimientos, experticia y alcance de las funciones.

viii. : Demuestra conocimientos especializados de su área, las tendencias de desarrollo e innovación, así como, conocimientos generales de áreas afines para el desempeño de sus funciones.

NIVEL 5:

- i. Analiza críticamente y genera información especializada para responder a necesidades propias de su área y de otras afines a su especialidad. Evalúa y usa información para tomar decisiones y definir estrategias para innovar en procesos propios de su área profesional.
- ii. Previene y diagnostica problemas complejos, estableciendo parámetros apropiados al contexto y relacionados con su área de especialización. Genera y evalúa soluciones a problemas complejos relacionados con un área de especialización en diversos contextos.
- iii. Define, planifica, gestiona y evalúa recursos humanos y materiales, y procesos de un área profesional especializada. Aplica y evalúa métodos, procedimientos y técnicas para desarrollar e innovar en procesos de un área especializada en diversos contextos.
- iv. Comunica y recibe información compleja y especializada a través de medios y soportes adecuados en diversos contextos.
- v. Trabaja colaborativamente en procesos complejos, coordinándose con otros equipos de trabajo en diversos contextos. Lidera y retroalimenta a otras personas y equipos de trabajo en diversos contextos.
- vi. Se desempeña con autonomía en funciones especializadas y estratégicas en contextos diversos y complejos. Dirige a otros en diversos contextos afines a su área. Toma decisiones tácticas y estratégicas que inciden en los procesos de su área en diversos contextos. Evalúa el proceso y los resultados del quehacer propio y el de otros para retroalimentar y generar estrategias de mejoramiento y de calidad. Moviliza recursos para la actualización de sus conocimientos y habilidades para su desarrollo profesional.
- vii. Respeta y propicia el cumplimiento de leyes y normas que resguardan la calidad de los procesos y el desarrollo de la organización. Responde por el cumplimiento de los resultados y procesos, así como por el cumplimiento de metas de acuerdo a sus funciones. Evalúa y comunica las implicancias de sus acciones y las de su equipo, sobre la salud y la vida, la organización, la sociedad y el medio ambiente. Define y guía las acciones propias y las de otros de acuerdo a los conocimientos, experticia y alcance de las funciones.
- viii. Demuestra conocimientos especializados y complejos de su área, así como de las tendencias de desarrollo e innovación de su área profesional.

Cada nivel está acompañado de una descripción de capacidades generales, criterios de logro y estándares que permiten la vinculación con programas formativos y marcos de certificación.

2.5.2. Perfiles Relevantes para Mantenimiento

Dentro del Catálogo Nacional de Cualificaciones Técnico Profesionales, se incluyen perfiles directamente vinculados al área del mantenimiento, tales como:

- I. Técnico de mantenimiento electromecánico industrial.
- II. Técnico de mantenimiento predictivo.
- III. Técnico en sistemas eléctricos industriales.
- IV. Supervisor de mantenimiento industrial.

Cada perfil contempla funciones clave, competencias específicas, requerimientos técnicos, ámbitos de desempeño, y corresponde a uno o varios niveles del marco. Estos perfiles son construidos y validados en conjunto con sectores productivos específicos, como la minería, energía, salud y manufactura.

2.5.3. Relación con la Formación y Certificación

El MCM 2019 está diseñado para articularse con los siguientes componentes del sistema formativo chileno:

- Educación Media Técnico Profesional (EMTP).
- Formación Técnica de Nivel Superior (FTNS).
- Certificación de Competencias Laborales (ChileValora).

2.5.4. Valor Estratégico

Desde una perspectiva de gestión del mantenimiento, el MCM 2019 permite:

- Identificar brechas de competencias en los equipos técnicos.
- Diseñar planes de capacitación interna alineados con estándares nacionales.
- Facilitar la contratación o promoción de personal con base en niveles validados.
- Comparar perfiles locales con normas internacionales como la BS EN 15628:2014, evidenciando convergencias y oportunidades de mejora.

2.6. Mapa Conceptual

El mapa conceptual cumple la función de organizar y sintetizar las relaciones entre los principales componentes del MCM, permitiendo visualizar de manera jerárquica la conexión entre niveles, competencias y perfiles ocupacionales.

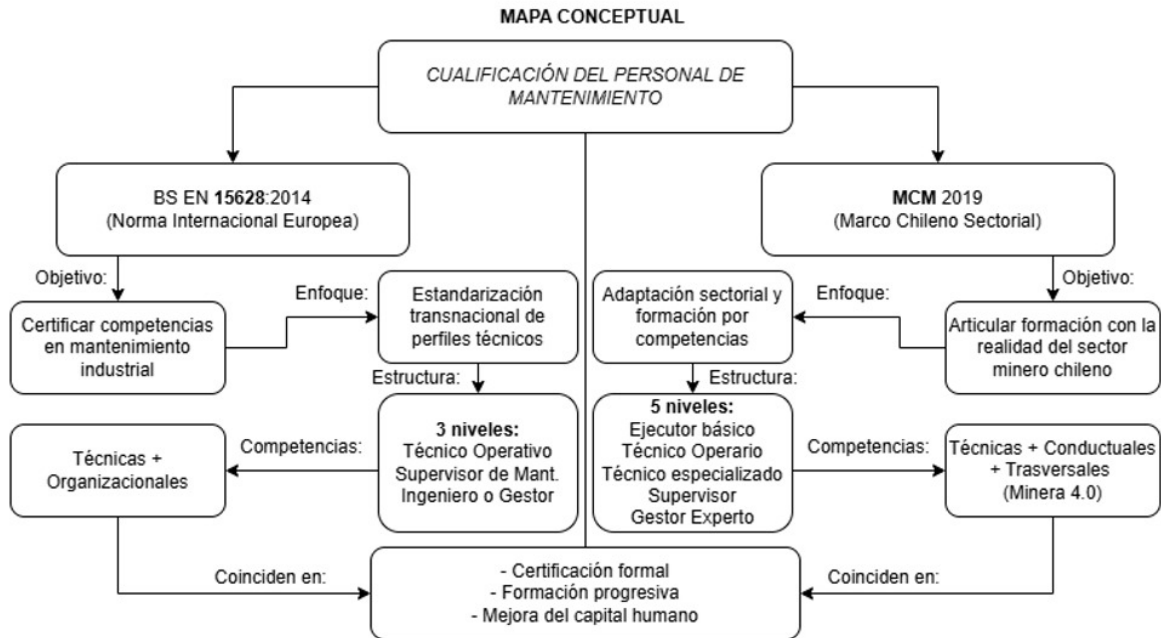


Figura 9: *Comparativa de Marcos de Cualificación.*

Fuente: *Elaboración propia en Draw.io*

Su utilización facilita la identificación de los criterios de análisis comparativo, ya que clarifica cómo se estructuran los ámbitos formativos, las responsabilidades laborales y los grados de autonomía técnica.

2.7. Criterios para el Análisis Comparativo

Para que la comparación entre la Norma BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 sea clara y útil, se definieron criterios comparativos que permiten evaluar de forma sistemática las similitudes, diferencias y alcances de cada instrumento. Estos criterios fueron seleccionados en función de su relevancia para los procesos de formación, evaluación y certificación del personal técnico en mantenimiento, particularmente en el contexto de la industria minera chilena.

Los criterios establecidos son los siguientes:

A. Estructura de Niveles de cualificación

- Se considera el número de niveles definidos, su jerarquización y la claridad con que se vinculan a roles reales en el campo del mantenimiento. Este criterio permite identificar la profundidad y progresividad del desarrollo profesional propuesto.

B. Tipo de Competencias Consideradas

- Analiza si los marcos incluyen competencias técnicas, organizativas, conductuales y digitales, y en qué medida estas se integran al perfil de los trabajadores. Esto es clave para evaluar la integralidad de cada propuesta formativa.

C. Pertinencia Sectorial y Contextual

- Evalúa en qué medida los marcos responden a las necesidades específicas del sector industrial o minero, considerando las condiciones operacionales y tecnológicas propias del contexto nacional o internacional.

D. Vinculación con Formación y Certificación

- Examina el grado de articulación de cada marco con programas de educación formal, formación continua y sistemas de certificación laboral, lo cual es fundamental para asegurar la aplicabilidad práctica del modelo.

E. Flexibilidad y Adaptación Tecnológica

- Considera la capacidad de cada instrumento para incorporar nuevas tecnologías, responder a la evolución del sector (industria 4.0), y fomentar la actualización permanente de las competencias.

F. Orientación a Resultados y Mejora Continua

- Observa si los marcos promueven el desarrollo profesional progresivo, la evaluación periódica del desempeño y la mejora continua en las prácticas de mantenimiento.

Estos puntos servirán de base para el análisis comparativo que se desarrolla en el próximo capítulo, ayudando a detectar qué aspectos se podrían mejorar para fortalecer la formación y certificación del personal de mantenimiento en Chile.

3. Capítulo III: Comparación Estratégica y Técnica de Marcos de Cualificación para el Personal de Mantenimiento

3.1. Introducción

En este capítulo comparo los marcos para la formación profesional. A través de los seis criterios, analizo cómo cada uno define las competencias y niveles del personal técnico. Con el fin de cuantificar y cualificar los datos presentes en cada marco.

3.2. Enfoque Metodológico

La metodología utilizada en este estudio se estructuró en cuatro etapas principales: Comenzando con un análisis documental de los marcos normativos, luego pasamos a la normalización y codificación de criterios, para lograr una modelación mediante métricas de convergencia estructural y solapamiento conceptual, y finalizar con una representación gráfica de los resultados.

Este enfoque permitió comparar la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 de manera sistemática, transparente y replicable.

- **Ciclo PHVA aplicado a la formación técnica:**

El ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar), también conocido como PDCA (Plan, Do, Check, Act), constituye una de las metodologías más reconocidas en la gestión de la calidad y la mejora continua. Su origen se atribuye a W. Edwards Deming, quien lo difundió como un modelo iterativo de planificación, ejecución, evaluación y acción correctiva en procesos organizacionales (Deming, 1986). Posteriormente, la norma ISO 9001:2015 incorporó explícitamente este enfoque como marco de referencia para la gestión de sistemas de calidad, consolidando su aplicación transversal en distintos sectores (International Organization for Standardization, 2015). En este trabajo, el ciclo PHVA se adopta como herramienta metodológica complementaria, ya que permite estructurar la comparación de criterios de manera sistemática, transparente y orientada a la mejora continua.

Fase	Aplicabilidad al Contexto
► Planificar	Definir los perfiles de competencia requeridos según MCM ó BS EN 15628:2014.
► Hacer	Implementar programas de formación y certificación.
► Verificar	Evaluar brechas y resultados. **
► Actuar	Ajustar contenidos, métodos o estándares según necesidades detectadas.

Tabla 4: *Ciclo PHVA.*

**En la fase *Verificar* del ciclo PHVA se propone fortalecer el proceso mediante la incorporación de criterios de validación externa, contrastando los resultados con estándares internacionales y fuentes complementarias. Esta mejora busca asegurar la coherencia y trazabilidad de los hallazgos, siguiendo los lineamientos de revisión y auditoría establecidos en las normas ISO 9001:2015 e ISO 19011:2018, (International Organization for Standardization,

2015), (I. O. for Standardization, 2018).

Este modelo respalda la idea de que los marcos normativos deben ser herramientas vivas, adaptables a los cambios del entorno productivo, este ciclo se aplica de forma sistemática en los apartados 3.3.1, de manera consecutiva hasta el punto 3.3.6.

- **Matriz comparativa por criterios:**

La matriz comparativa se emplea como herramienta metodológica para organizar la información en dimensiones observables y contrastar de manera sistemática las similitudes y diferencias entre los marcos normativos analizados. Este tipo de matrices es ampliamente utilizado en investigación cualitativa y estudios de casos para facilitar la reducción, visualización e interpretación de datos complejos (Miles, Huberman, y Saldaña, 2014) (Yin, 2014). Su aplicación permite transformar narrativas extensas en categorías estructuradas, lo que asegura transparencia, replicabilidad y una base sólida para la asignación posterior de puntajes. De esta manera, las matrices no solo resumen contenidos, sino que constituyen un instrumento de sistematización metodológica que complementa al ciclo PHVA y a la estadística descriptiva en el proceso comparativo.

Se estructuró una matriz comparativa que permite identificar, para cada criterio de análisis:

Indicadores:

- Puntos de coincidencia.
- Diferencias estructurales.
- Oportunidades de mejora formativa.
- Movilidad y Reconocimiento.
- Actualización y proyección futura.

Categorización (baja / media / alta): Para cada criterio definido en el apartado 2.7, se verificó el cumplimiento de un conjunto acotado de indicadores observables (derivados de lo ya descrito en el texto, tablas y figuras). Cada indicador se evalúa de manera binaria (presente=1, ausente=0). El porcentaje de cumplimiento del criterio se calcula como:

$$\text{cumplimiento} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \times 100\%$$

donde n es el número de indicadores y $I_i \in \{0, 1\}$.

La regla de la **Tabla 5** se aplica sobre los cinco indicadores definidos (coincidencias, diferencias, oportunidades formativas, movilidad, actualización), contabilizados binariamente (1/0) en cada matriz, (Yin, 2014), (Miles et al., 2014)

Categoría mostrada	Rango de cumplimiento	Regla de decisión (con n indicadores)
Baja	0 % – 40 %	$\sum I_i \leq 0,40 n$ (pocos indicadores presentes)
Media	41 % – 70 %	$0,41 n \leq \sum I_i \leq 0,70 n$
Alta	71 % – 100 %	$\sum I_i \geq 0,71 n$ (mayoría de indicadores presentes)

Tabla 5: Regla de categorización utilizada en las matrices comparativas.

3.3. Comparación por Criterios Técnicos

Este apartado presenta el análisis comparativo entre la Norma BS EN 15628:2014 y el Marco de Cualificación Minero 2019, considerando las seis dimensiones clave: estructura de niveles, tipo de competencias, pertinencia sectorial, vinculación con certificación, adaptación tecnológica y orientación a resultados.

3.3.1. Estructura de Niveles de Cualificación

Este criterio analiza la forma en que cada marco define y organiza los niveles de cualificación, considerando cantidad, descripción funcional y pertinencia sectorial.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Define tres niveles jerárquicos generales.	Establece cinco niveles progresivos adaptados al contexto minero.
Hacer	Implementa los niveles en programas formativos multisectoriales.	Integra los cinco niveles en trayectorias formativas específicas para minería.
Verificar	Requiere adaptación local para seguimiento de desarrollo profesional.	Favorece seguimiento más granular y validado sectorialmente.
Actuar	Complemento con descriptores intermedios.	Revisión periódica con base en estudios de fuerza laboral.

Tabla 6: Aplicación del ciclo PHVA en la estructura de niveles de cualificación (3.3.1).

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	1 ó 0	MCM 2019	0 ó 1
Puntos de coincidencia	Define niveles jerárquicos con descriptores generales	1	Define niveles progresivos con descriptores sectoriales	1
Diferencias estructurales	3 niveles jerárquicos multisectoriales	1	5 niveles adaptados a minería	1
Oportunidades de mejora formativa	No incorpora rutas formativas sectoriales	0	Articulación con EMTP, FTNS y ChileValora	1
Movilidad y reconocimiento	Movilidad internacional a través del EQF	1	Movilidad limitada a minería nacional	0
Actualización y proyección futura	Revisión europea general, no sectorial	0	Revisión periódica basada en brechas de fuerza laboral minera	1
Total indicadores presentes	3 de 5	–	4 de 5	–

Tabla 7: *Matriz comparativa del criterio 3.3.1, con verificación binaria de indicadores.*

(1 = presente, 0 = ausente)

Análisis: Los resultados de la **Tabla 7** y que se representan en la figura 10, muestran que la BS EN 15628:2014 cumple con tres de los cinco indicadores (60 %), alcanzando la categoría **media**. Este desempeño refleja que la norma ofrece una estructura clara de niveles jerárquicos y una vinculación sólida con el EQF, lo que favorece la estandarización y la movilidad internacional. Sin embargo, su carácter multisectorial explica la ausencia de indicadores clave vinculados a la pertinencia sectorial y a la actualización específica para minería, lo que limita su nivel de ajuste. En contraste, el MCM 2019 cumple con cuatro de los cinco indicadores (80 %), obteniendo la categoría **alta**. Esto evidencia que su diseño con cinco niveles progresivos otorga mayor granularidad en el desarrollo profesional y un mejor ajuste a las demandas del sector minero chileno.

3.3.2. Tipos de Competencias Consideradas

Este criterio compara los tipos de competencias contempladas en ambos marcos, diferenciando entre técnicas, organizativas, transversales y conductuales.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Define competencias técnicas y organizativas como base de la cualificación.	Integra competencias técnicas, organizativas, transversales y conductuales desde la planificación de perfiles.
Hacer	Implementa competencias funcionales en distintos niveles jerárquicos, sin detallar formación conductual.	Aplica un enfoque integral en programas formativos, incorporando tanto aspectos técnicos como conductuales.
Verificar	La evaluación se centra en la ejecución de tareas técnicas y de gestión, con limitaciones en competencias blandas.	Incluye verificación periódica de competencias técnicas y transversales, vinculadas a estudios de brechas sectoriales.
Actuar	El ajuste depende de adaptaciones locales o sectoriales, sin mecanismos estandarizados de actualización.	Incorpora mecanismos explícitos de actualización y mejora continua, ajustando perfiles de acuerdo con la evolución tecnológica y del mercado laboral.

Tabla 8: *Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.2**(Tipos de competencias consideradas)*

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	1 ó 0	MCM 2019	1 ó 0
Puntos de coincidencia	Incluye competencias técnicas y organizativas	1	Incluye competencias técnicas, organizativas y transversales	1
Diferencias estructurales	Competencias conductuales no especificadas	0	Competencias conductuales incluidas	1
Oportunidades de mejora formativa	Enfoque centrado en funciones básicas	0	Enfoque integral formativo (técnico + conductual + transversal)	1
Movilidad y reconocimiento	Homologación posible en marco europeo (EQF)	1	Reconocimiento principalmente sectorial (ChileValora)	1
Actualización y proyección futura	No explicita actualización de competencias	0	Ajustes periódicos según brechas de fuerza laboral	1
Total indicadores presentes	2 de 5	–	5 de 5	–

Tabla 9: *Matriz comparativa del criterio 3.3.2, con verificación binaria de indicadores.**(1 = presente, 0 = ausente)*

Análisis: Los resultados de la **Tabla 9** y que se representan en la **Figura 10**, muestran que la

BS EN 15628:2014 cumple con solo dos de los cinco indicadores (40 %), alcanzando la categoría **baja**. La norma enfatiza las competencias técnicas y organizativas, y su alineación con el EQF favorece la movilidad internacional; sin embargo, presenta vacíos importantes en la consideración de competencias conductuales, transversales y en la actualización formativa. En contraste, el MCM 2019 cumple con los cinco indicadores (100 %), alcanzando la categoría **muy alta**. Esto refleja un enfoque integral que incorpora competencias técnicas, transversales y conductuales, junto con mecanismos de actualización periódica, lo que le otorga mayor pertinencia en el desarrollo de perfiles laborales en minería.

3.3.3. Pertinencia Sectorial y contextual

Este criterio evalúa la capacidad de cada marco para responder al contexto sectorial y geográfico en que se aplica.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Diseña un marco de cualificaciones con alcance multisectorial en Europa.	Planifica un marco específico para la minería chilena, alineado con proyecciones de fuerza laboral.
Hacer	Implementación general en distintos sectores productivos, sin especificidad sectorial.	Aplicación directa en el sector minero, con programas formativos adaptados a su contexto.
Verificar	La pertinencia se revisa de manera amplia, dejando a cada país/sector la adaptación.	Verificación a través de estudios periódicos de brechas laborales en minería.
Actuar	Los ajustes dependen de revisiones a nivel europeo, no sectorial.	Actualización periódica de perfiles de acuerdo con necesidades del sector minero.

Tabla 10: *Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.3*

(Pertinencia sectorial y contextual)

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	1 ó 0	MCM 2019	1 ó 0
Puntos de coincidencia	Define competencias generales aplicables a varios sectores	1	Define competencias contextualizadas al sector productivo	1
Diferencias estructurales	Enfoque multisectorial, no sector-específico	0	Diseño enfocado exclusivamente en minería chilena	1
Oportunidades de mejora formativa	No incluye referencias a contextos locales	0	Permite articular la formación con necesidades mineras	1
Movilidad y reconocimiento	Movilidad amplia en la Unión Europea	1	Reconocimiento limitado al sector minero nacional	0
Actualización y proyección futura	Actualización general a nivel europeo, sin sectorialización	0	Revisiones periódicas basadas en estudios de fuerza laboral minera	1
Total indicadores presentes	2 de 5	–	4 de 5	–

Tabla 11: *Matriz comparativa del criterio 3.3.3, con verificación binaria de indicadores.*

(1 = presente, 0 = ausente)

Análisis: Los resultados de la **Tabla 11** y que se representan en la **Figura 10**, muestran que la EN 15628 cumple con solo dos de los cinco indicadores (40 %), alcanzando la categoría **baja**. Aunque proporciona una base multisectorial amplia y facilita la movilidad en Europa, carece de mecanismos para asegurar pertinencia local o sectorial, lo que limita su ajuste al contexto minero chileno. En contraste, el MCM 2019 cumple con cuatro de los cinco indicadores (80 %), alcanzando la categoría **alta**. Esto refleja que su diseño, centrado en el sector minero, permite articular formación y certificación con evidencia de fuerza laboral, lo que fortalece su pertinencia y capacidad de actualización frente a cambios productivos.

3.3.4. Vinculación con Formación y Cerificación

Este criterio observa cómo se articula cada marco con los sistemas de formación y certificación laboral.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Vincula competencias a un marco de referencia general (EQF), sin detallar trayectorias formativas.	Integra competencias con EMTP, FTNS y ChileValora, planificando trayectorias específicas para minería.
Hacer	Implementación de cualificaciones a través de programas adaptados en distintos países europeos.	Aplicación directa en programas de formación técnica y certificación laboral del sector minero.
Verificar	Movilidad laboral verificada a través de homologaciones en el contexto europeo.	Evaluación de competencias vinculada a estudios de brechas y certificación sectorial.
Actuar	Actualizaciones generales del EQF, con ajustes no sectoriales.	Incorpora revisiones periódicas y nuevos perfiles según evolución de la minería y cambios tecnológicos.

Tabla 12: *Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.4**(Vinculación con formación y certificación)*

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	1 ó 0	MCM 2019	1 ó 0
Puntos de coincidencia	Reconoce relación entre competencias y sistemas de cualificación	1	Integra competencias con formación y certificación sectorial	1
Diferencias estructurales	Enfoque general de cualificaciones, sin rutas formativas específicas	0	Define rutas formativas articuladas con EMTP y FTNS	1
Oportunidades de mejora formativa	Movilidad internacional, sin énfasis sectorial	1	Fortalece certificación nacional en minería	1
Movilidad y reconocimiento	Homologación en la Unión Europea (EQF)	1	Movilidad principalmente a nivel nacional, limitada a minería	0
Actualización y proyección futura	Actualización vinculada a cambios europeos generales	0	Revisión periódica según evolución productiva y tecnológica	1
Total indicadores presentes	3 de 5	–	4 de 5	–

Tabla 13: *Matriz comparativa del criterio 3.3.4 (vinculación con formación y certificación), con verificación binaria de indicadores.**(1 = presente, 0 = ausente)*

Análisis: Los resultados de la **Tabla 13** y que se representan en la **Figura 10**, muestran que la BS EN 15628:2014 cumple con tres de los cinco indicadores (60 %), alcanzando la categoría **media**. Su principal fortaleza radica en la movilidad laboral internacional a través del EQF, pero presenta limitaciones al no establecer rutas formativas ni mecanismos sectoriales de actualización. En contraste, el MCM 2019 cumple con cuatro de los cinco indicadores (80 %), alcanzando la categoría **alta**. Su integración con EMTP, FTNS y ChileValora permite una fuerte articulación entre formación y certificación, lo que refuerza la pertinencia en el sector minero, aunque con menor alcance en movilidad internacional.

3.3.5. Flexibilidad y Adaptación Tecnológica

Este criterio mide la capacidad de los marcos para responder a los cambios tecnológicos asociados a la Industria 4.0 y la minería digital.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Reconoce la necesidad de actualización tecnológica, pero sin detallar competencias digitales específicas.	Integra competencias digitales y de automatización en la planificación de perfiles mineros.
Hacer	La aplicación queda a criterio de cada sector productivo.	Implementa programas que incluyen habilidades para enfrentar Industria 4.0 en minería.
Verificar	La verificación depende de adaptaciones locales, sin lineamientos explícitos.	Utiliza estudios de brechas laborales y tecnológicas para evaluar la pertinencia.
Actuar	Las actualizaciones se realizan a nivel general europeo, sin foco tecnológico concreto.	Prevé ajustes periódicos de perfiles en función de los cambios tecnológicos y productivos.

Tabla 14: *Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.5 (flexibilidad y adaptación tecnológica).*

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	1 ó 0	MCM 2019	1 ó 0
Puntos de coincidencia	Ambos reconocen la necesidad de adaptación tecnológica	1	Reconoce la necesidad de adaptación tecnológica, con enfoque sectorial	1
Diferencias estructurales	No incluye competencias digitales explícitas	0	Define competencias digitales y de automatización	1
Oportunidades de mejora formativa	Dependencia de adaptaciones locales para integrar nuevas tecnologías	0	Articulación formativa vinculada a procesos de digitalización	1
Movilidad y reconocimiento	Generalización facilita movilidad multisectorial, pero sin detalle tecnológico	1	Reconocimiento sectorial con foco en minería digital	1
Actualización y proyección futura	Actualización general a nivel europeo, sin foco tecnológico	0	Prevé revisiones periódicas vinculadas a brechas tecnológicas	1
Total indicadores presentes	2 de 5	–	5 de 5	–

Tabla 15: *Matriz comparativa del criterio 3.3.5, con verificación binaria de indicadores.*

(1 = presente, 0 = ausente)

Análisis: Los resultados de la **Tabla 15** y que se representan en la **Figura 10**, muestran que la BS EN 15628:2014 cumple con solo dos de los cinco indicadores (40 %), alcanzando la categoría **baja**. Aunque reconoce la necesidad de adaptación tecnológica, no incorpora competencias digitales específicas ni mecanismos claros de actualización sectorial. En contraste, el MCM 2019 cumple con los cinco indicadores (100 %), alcanzando la categoría **muy alta**. Esto refleja un enfoque explícito hacia la digitalización y la minería 4.0, integrando competencias digitales, procesos de verificación sectoriales y mecanismos de actualización periódica, lo que lo convierte en un marco más flexible y alineado con la transformación tecnológica.

3.3.6. Orientación a Resultados y Mejora Continua

Este criterio analiza la orientación de cada marco hacia resultados medibles, progresión profesional y mecanismos de mejora continua.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Establece niveles de cualificación con orientación general a resultados, sin detallar itinerarios.	Planifica itinerarios progresivos de cualificación, orientados a resultados específicos de desempeño.
Hacer	Implementación centrada en competencias técnicas y organizativas, con verificación indirecta de resultados.	Aplica programas formativos articulados con certificaciones, con énfasis en mejora continua del perfil laboral.
Verificar	La revisión de resultados depende de adaptaciones nacionales o sectoriales.	Verificación periódica mediante estudios de brechas laborales y retroalimentación sectorial.
Actuar	No incorpora un mecanismo formal de mejora continua sectorial.	Actualización periódica de perfiles, ajustados según evolución tecnológica y productiva.

Tabla 16: *Aplicación del ciclo PHVA al criterio 3.3.6*

(Orientación a resultados y mejora continua)

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	Binario	MCM 2019	Binario
Puntos de coincidencia	Ambos orientan perfiles hacia resultados de desempeño	1	Ambos orientan perfiles hacia resultados de desempeño	1
Diferencias estructurales	Resultados planteados de forma general, sin métricas específicas	0	Resultados definidos con itinerarios progresivos y medibles	1
Oportunidades de mejora formativa	No explicita mecanismos de retroalimentación sectorial	0	Incorpora mejora continua en la planificación de formación y certificación	1
Movilidad y reconocimiento	Aporta reconocimiento internacional, sin énfasis en resultados	1	Reconocimiento sectorial enfocado en desempeño minero	1
Actualización y proyección futura	Depende de revisiones generales europeas, no sectoriales	0	Revisión periódica con base en evidencia de brechas laborales	1
Total indicadores presentes	2 de 5	–	5 de 5	–

Tabla 17: *Matriz comparativa del criterio 3.3.6 (orientación a resultados y mejora continua), con verificación binaria de indicadores.*

(1 = presente, 0 = ausente)

Análisis: Los resultados de la **Tabla 17** y que se representan en la **Figura 10**, muestran que la BS EN 15628 cumple con dos de los cinco indicadores (40 %), alcanzando la categoría **baja**. Aunque establece una orientación general hacia resultados de desempeño y favorece la movilidad internacional, carece de mecanismos explícitos de mejora continua y actualización sectorial, lo que limita su efectividad en contextos dinámicos. En contraste, el MCM 2019 cumple con los cinco indicadores (100 %), alcanzando la categoría **muy alta**. Esto refleja su énfasis en itinerarios progresivos, verificación sectorial y actualización constante, consolidándolo como un marco fuertemente orientado a resultados y a la mejora continua en el sector minero.

3.4. Síntesis comparativa

La comparación integral de los seis criterios analizados permite extraer patrones comunes y divergentes entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019. Lejos de ser excluyentes, ambos marcos muestran un carácter complementario: mientras la norma europea aporta estandarización y movilidad internacional, el marco chileno asegura pertinencia sectorial y aplicabilidad inmediata en la minería nacional.

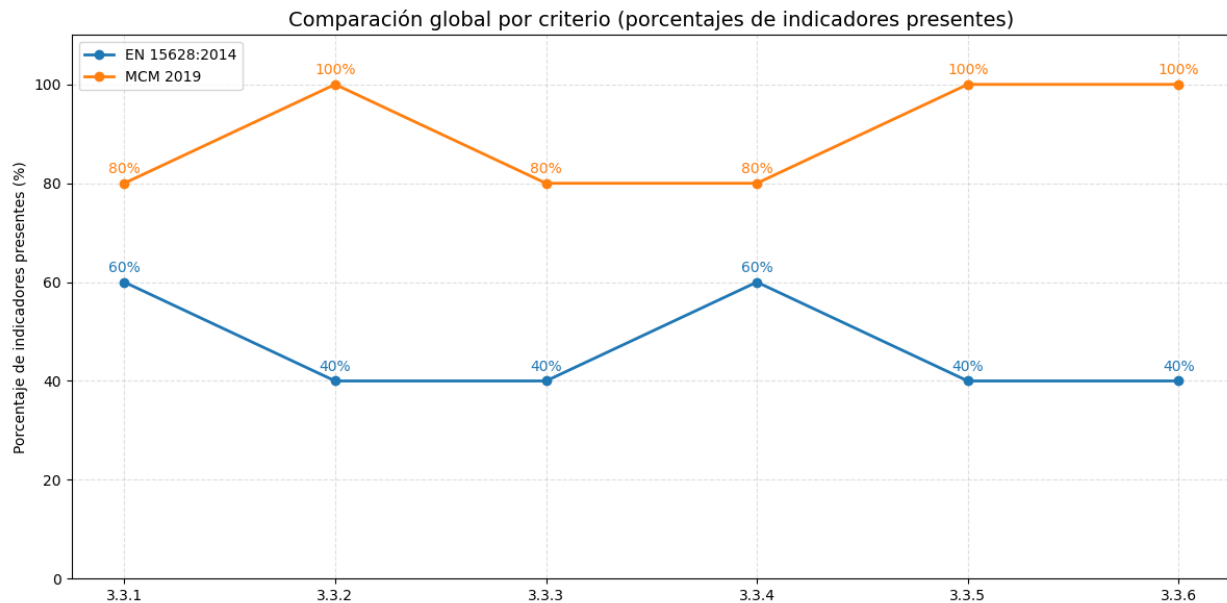


Figura 10: *Comparación Global por Criterio.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

3.4.1. Estandarización vs Pertinencia Local

La comparación entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 refleja dos enfoques complementarios: estandarización internacional y pertinencia sectorial. Este contraste puede analizarse con la metodología PHVA, que estructura la mejora continua en cuatro etapas: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar.

En la BS EN 15628:2014, el énfasis se encuentra principalmente en las fases de Planificar y Verificar. La norma europea define perfiles de competencia y clasificaciones generales que permiten organizar la planificación de funciones de mantenimiento y verificar su alineación con estándares internacionales. Su valor radica en generar un lenguaje común y facilitar la movilidad laboral, aunque con menor detalle operativo.

En el MCM 2019, el aporte se concentra en las fases de Hacer y Actuar. El marco chileno establece perfiles específicos para la minería, describe trayectorias formativas (EMTP, FTNS, ChileValora) y actualiza sus descriptores en función de estudios de fuerza laboral. De esta manera, promueve la ejecución de planes de capacitación y la acción correctiva frente a brechas de competencias detectadas en la industria.

Criterio	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Nivel de especificidad	General, sin tecnologías concretas	Detallado: automatización, analítica, sostenibilidad
Industria 4.0	Reconoce necesidad de adaptación	Integra competencias digitales y de minería 4.0
Actualización de competencias	Implícita, depende del sector	Explícita en perfiles y niveles
Aplicabilidad	Multisectorial	Específica para minería

Tabla 18: *Comparación de la flexibilidad y adaptación tecnológica.*

Análisis: Desde la lógica del ciclo PHVA, la BS EN 15628:2014 funciona como una guía para planificar y verificar competencias con un alcance global, mientras que el MCM 2019 asegura la implementación y la acción correctiva en el contexto local. Ambos marcos, en conjunto, completan las cuatro fases del ciclo de mejora, ofreciendo una visión integral para el desarrollo de competencias en mantenimiento.

3.4.2. Flexibilidad y Minería 4.0

La comparación entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 en el ámbito de la flexibilidad tecnológica y la adaptación a la minería 4.0 revela diferencias claras en el nivel de especificidad y en la integración de nuevas competencias digitales. Analizado desde la metodología PHVA, se aprecia que cada marco se posiciona de forma distinta en las cuatro fases del ciclo de mejora continua.

La BS EN 15628:2014 reconoce la necesidad de actualización frente a nuevas tecnologías, lo que permite planificar estrategias generales de desarrollo de competencias. No obstante, su carácter multisectorial impide detallar rutas específicas para la minería digital. El MCM 2019, en cambio, identifica explícitamente la automatización, la analítica avanzada y la sostenibilidad como focos prioritarios, lo que fortalece la planificación estratégica de perfiles en la industria minera.

En la fase de ejecución, la BS EN 15628:2014 delega la implementación tecnológica en cada sector, sin entregar lineamientos operativos. Por el contrario, el MCM 2019 impulsa la incorporación directa de competencias digitales en sus cinco niveles, lo que se traduce en acciones concretas de formación y certificación vinculadas a la minería 4.0.

La BS EN 15628:2014 facilita la verificación de la adecuación de competencias con estándares internacionales, pero no establece mecanismos de seguimiento tecnológico sectorial. El MCM 2019, al estar basado en estudios de fuerza laboral, permite verificar la pertinencia de las competencias frente a los cambios tecnológicos del rubro.

En la BS EN 15628:2014, la acción correctiva queda implícita, dependiendo de la capacidad de los sectores para adaptar la norma a nuevas exigencias. En el caso del MCM 2019, la actualización periódica de perfiles y la incorporación de nuevas competencias en respuesta a la minería 4.0 constituyen un mecanismo explícito de acción y mejora.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Reconoce la necesidad de adaptación tecnológica, sin rutas específicas.	Define competencias en automatización, analítica y sostenibilidad.
Hacer	Delegado en sectores, sin lineamientos operativos.	Integra competencias digitales en los cinco niveles formativos.
Verificar	Homologación internacional de competencias, generalista.	Evalúa pertinencia frente a estudios de fuerza laboral en minería.
Actuar	Acción correctiva implícita, depende del sector.	Actualización periódica de perfiles para enfrentar la minería 4.0

Tabla 19: *Aplicación del ciclo PHVA en la flexibilidad tecnológica y minería 4.0.*

Análisis Bajo la metodología, la BS EN 15628:2014 cumple un rol de referencia global para planificar y verificar la actualización tecnológica, mientras que el MCM 2019 asegura la ejecución y adaptación sectorial mediante rutas formativas concretas. En conjunto, ambos marcos ofrecen un modelo integral: la norma europea como guía general y el marco chileno como instrumento práctico de implementación en la minería.

3.4.3. Trayectorias formativas y Mejora Continua

La norma Europea y el Marco de Cualificación coinciden en reconocer la necesidad de actualización permanente de competencias, pero difieren en el grado de detalle y en los mecanismos para garantizar la mejora continua. Analizado desde la metodología PHVA, se observa cómo cada marco aborda las fases de la progresión formativa y la retroalimentación de resultados.

La BS EN 15628:2014 establece perfiles generales de competencias en tres niveles (técnico, supervisor, ingeniero), alineados al EQF, lo que permite planificar la progresión de manera estandarizada a nivel europeo. El MCM 2019, en cambio, detalla cinco niveles progresivos de competencias técnicas, transversales y conductuales, adaptados a la minería chilena, lo que permite planificar rutas formativas más específicas y sectoriales.

La norma Europea se limita a orientar la formación de manera general, dejando la ejecución a cada país o industria. El MCM 2019 articula la EMTP, la FTNS y la certificación de ChileValora, garantizando la ejecución de trayectorias formativas y certificaciones directamente vinculadas al sector.

En la norma Europea, la verificación se realiza por comparación con estándares internacionales, sin mecanismos explícitos de seguimiento sectorial. El MCM 2019 permite verificar la pertinencia y suficiencia de las competencias mediante estudios de fuerza laboral y análisis de brechas, lo que asegura retroalimentación directa con la industria.

La norma europea delega la actualización en los actores locales, sin contemplar procedimientos específicos de corrección. El marco chileno, en cambio, contempla la actualización periódica de perfiles y niveles de cualificación, lo que facilita la acción correctiva y la mejora continua frente a cambios en la minería.

Fase PHVA	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Planificar	Define 3 niveles generales (técnico, supervisor, ingeniero) alineados al EQF.	Establece 5 niveles progresivos, específicos para minería.
Hacer	Orienta la formación, delegando implementación en sectores.	Integra EMTP, FTNS y ChileValora como rutas formativas y certificación,
Verificar	Compara competencias con estándares internacionales, generalista.	Evalúa pertinencia y brechas mediante estudios de fuerza laboral.
Actuar	Actualización depende de actores locales.	Actualización periódica de perfiles y cierre de brechas sectoriales.

Tabla 20: *Aplicación del ciclo PHVA en trayectorias formativas y mejora continua.*

Análisis Desde el enfoque PHVA, la norma Europea aporta un marco estandarizado para planificar y verificar la progresión formativa, mientras que el MCM 2019 asegura la ejecución y acción correctiva en función de la realidad sectorial. Así, la norma europea actúa como guía internacional, y el marco chileno como instrumento dinámico para la mejora continua del capital humano en mantenimiento.

3.4.4. Definición de escala Covergencias y Divergencias

Con el fin de representar de manera más clara las diferencias y similitudes entre ambos marcos, se procedió a **operacionalizar los criterios cualitativos en valores cuantitativos**, utilizando una escala de **1 a 5**, donde:

- **1 = Muy bajo / implícito / genérico**
- **2 = Bajo / poco específico**
- **3 = Medio / definido pero generalista**
- **4 = Alto / explícito y detallado**
- **5 = Muy alto / integrado, contextualizado y completo**

Esta cuantificación permite traducir las descripciones narrativas en una visión comparativa visual y tabular, facilitando la elaboración de gráficos de síntesis (como el radar).

Las **justificaciones destacadas** para cada criterio son:

- **Estructura de niveles:** La BS EN 15628:2014 alcanza un nivel alto (3) por sus tres niveles alineados al EQF, mientras que el MCM logra un nivel muy alto (4) al detallar cinco niveles progresivos específicos para minería.
- **Tipos de competencias:** La norma europea obtiene un nivel medio (2) al centrarse en competencias técnicas y organizativas, en contraste con el MCM (5), que incorpora competencias técnicas, transversales y conductuales.
- **Pertinencia sectorial:** La BS EN 15628:2014 refleja un nivel bajo (2) al ser multisectorial y generalista, mientras que el MCM se valora con el máximo (4) al ser específico para minería chilena.
- **Formación y certificación:** La norma europea se ubica en nivel medio (3) al vincularse con el EQF, mientras que el MCM alcanza el máximo (4) al articular EMTP, FTNS y ChileValora.
- **Adaptación tecnológica:** La BS EN 15628:2014 se ubica en nivel bajo (2) al reconocer la necesidad de actualización sin detallar tecnologías, mientras que el MCM logra un nivel alto (5) al integrar minería 4.0 y analítica avanzada.
- **Resultados y mejora continua:** La BS EN 15628:2014 se califica en nivel medio (2) por su orientación implícita a la mejora, mientras que el MCM alcanza un nivel alto (5) al incluir explícitamente la mejora continua y el cierre de brechas.

Criterio	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Estructura de niveles	3 (tres niveles claros, alineados a EQF)	4 (cinco niveles detallados y específicos)
Tipos de competencias	2 (técnicas y organizativas, limitadas)	5 (técnicas, transversales y conductuales)
Pertinencia sectorial	2 (general, multisectorial)	4 (específico para minería chilena)
Formación / certificación	3 (referencia EQF, movilidad)	4 (EMTP, FTNS, ChileValora explícito)
Adaptación tecnológica	2 (reconoce actualización sin tecnologías concretas)	5 (automatización, analítica, minería 4.0)
Resultados y mejora continua	2 (orientación implícita a la mejora)	5 (explícita mejora continua y cierre de brechas)

Tabla 21: *Cuantificación comparativa de los seis criterios analizados (escala 1-5).*

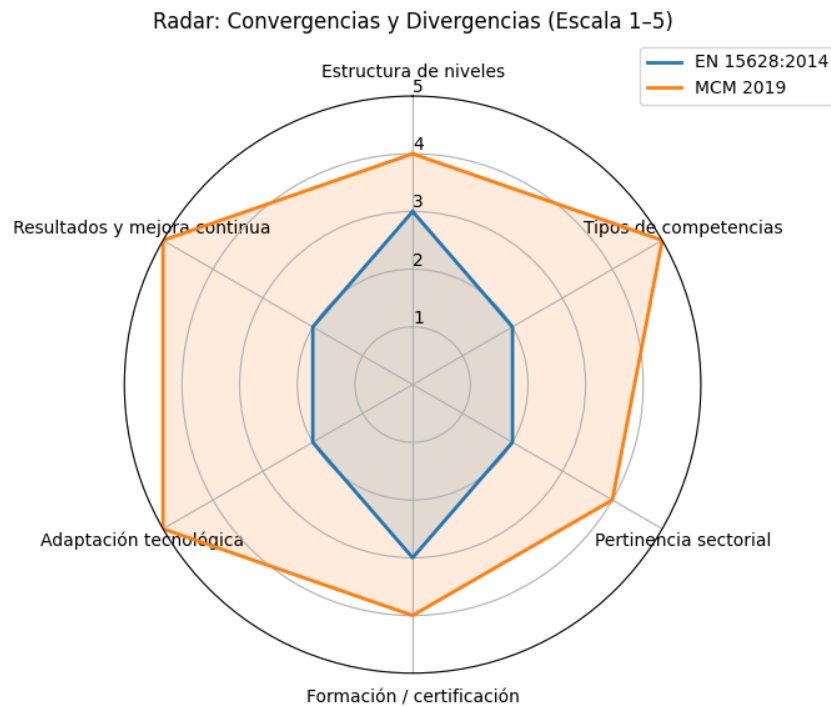


Figura 11: *Convergencia y Divergencias.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

3.4.5. Índice global de convergencia

Con el objetivo de sintetizar cuantitativamente el grado de alineamiento entre ambos marcos, se propone un índice global que integra dos dimensiones complementarias del gráfico radar: (i) la *similitud de forma* del patrón (independiente de la magnitud absoluta) y (ii) el *solapamiento de magnitud* criterio a criterio. La primera se estima mediante la **similitud de coseno** entre los vectores normalizados; la segunda, mediante un **índice de solapamiento** libre de supuestos de distribución.

La combinación de ambas se realiza por **agregación geométrica** con ponderación explícita, según prácticas recomendadas para construcción de indicadores compuestos. (Manning, Raghavan, y Schütze, 2008),(Pastore, Calcagnì, y Zanon, 2019),(Nardo et al., 2005)

Normalización: Si los puntajes del radar se encuentran en una escala $[S_{\text{mín}}, S_{\text{máx}}]$ ó $[1-5]$, se normaliza a $[0, 1]$:

$$z_i^{EN} = \frac{s_i^{EN} - S_{\text{mín}}}{S_{\text{máx}} - S_{\text{mín}}}, \quad z_i^{MCM} = \frac{s_i^{MCM} - S_{\text{mín}}}{S_{\text{máx}} - S_{\text{mín}}}.$$

Similitud de forma (coseno): La similitud de coseno evalúa el ángulo entre los vectores normalizados, capturando el *patrón relativo* del radar sin depender de la escala. (Manning et al., 2008)

$$C = \frac{\mathbf{z}^{EN} \cdot \mathbf{z}^{MCM}}{\|\mathbf{z}^{EN}\| \|\mathbf{z}^{MCM}\|}, \quad C \in [0, 1].$$

Solapamiento de magnitud (criterio a criterio): Para recoger la coincidencia efectiva de valores por criterio, se emplea un índice de solapamiento simple y distribución-libre (Pastore et al., 2019):

$$O_i = 1 - |z_i^{EN} - z_i^{MCM}|, \quad \bar{O} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i, \quad \bar{O} \in [0, 1].$$

Índice global de convergencia: El índice global se obtiene por *media geométrica ponderada*, que penaliza desequilibrios entre dimensiones y es consistente con buenas prácticas en indicadores compuestos (Nardo et al., 2005):

$$I_c = C^\alpha \cdot \bar{O}^{1-\alpha}, \quad \alpha \in [0, 1].$$

En este estudio se adopta $\alpha = 0,6$, priorizando la coherencia del *patrón* del radar sin ignorar diferencias absolutas entre criterios.

Procedimiento y trazabilidad: (i) Normalizar los puntajes del radar; (ii) calcular C ; (iii) calcular O_i y su promedio \bar{O} ; (iv) combinar por $I_c = C^\alpha \bar{O}^{1-\alpha}$. Este flujo asegura reproducibilidad y transparencia metodológica.

3.4.6. Trazabilidad del cálculo de los 6 criterios

el calculo C mide qué tan parecido es el “patrón” de ambos marcos en el radar (la forma), independiente de la magnitud.

Su valor va de 0 a 1 (mientras trabajemos con valores no negativos):

1 : patrones idénticos (máxima convergencia de forma).

0 : patrones ortogonales (sin relación de forma).

Similitud de forma:

$$\mathbf{z}^{EN} = (0,50, 0,25, 0,25, 0,50, 0,25, 0,25), \quad \mathbf{z}^{MCM} = (0,75, 1,00, 0,75, 0,75, 1,00, 1,00).$$

$$C = \frac{\mathbf{z}^{EN} \cdot \mathbf{z}^{MCM}}{\|\mathbf{z}^{EN}\| \|\mathbf{z}^{MCM}\|} = \frac{\sum_{i=1}^6 z_i^{EN} z_i^{MCM}}{\sqrt{\sum_{i=1}^6 (z_i^{EN})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^6 (z_i^{MCM})^2}}.$$

$$\mathbf{z}^{EN} \cdot \mathbf{z}^{MCM} = 2,75, \quad \|\mathbf{z}^{EN}\| = \sqrt{0,875} \approx 0,9354, \quad \|\mathbf{z}^{MCM}\| = \sqrt{5,3125} \approx 2,304.$$

$$C \approx \frac{2,75}{0,9354 \times 2,304} \approx 0,96.$$

Solapamiento de magnitud de los 6 criterios:

Criterio	s_i^{EN}	s_i^{MCM}	z_i^{EN}	z_i^{MCM}	$O_i = 1 - z_i^{EN} - z_i^{MCM} $
Estructura y niveles	3	4	0.50	0.75	0.75
Tipos de competencias	2	5	0.25	1.00	0.25
Pertinencia sectorial	2	4	0.25	0.75	0.50
Certificación	3	4	0.50	0.75	0.75
Flexibilidad tecnológica	2	5	0.25	1.00	0.25
Mejora continua	2	5	0.25	1.00	0.25
Promedio solapamiento \bar{O}					0,458

Tabla 22: Normalización y solapamiento criterio a criterio.

Valor e interpretación del índice global:

La ponderación $\alpha = 0,6$ se seleccionó con base en la relevancia estructural del patrón de convergencia. En comparaciones normativas, la *similitud de forma* (C) refleja la coherencia conceptual de los marcos, mientras que el *solapamiento de magnitud* (\bar{O}) cuantifica diferencias numéricas criterio a criterio.

Asignar un peso de 60 % a C y 40 % a \bar{O} permite priorizar la convergencia estructural sin desestimar las brechas observadas. (Nardo et al., 2005)

$$I_c = C^{0,6} \cdot \bar{O}^{0,4} = 0,96^{0,6} \cdot 0,458^{0,4} \approx 0,81$$

El valor obtenido ($I_c = 0,81$) indica una **convergencia global alta** entre la norma BS EN 15628:2014 y el MCM 2019, lo que significa que ambos comparten una estructura funcional coherente en sus criterios principales, con divergencias menores concentradas en la flexibilidad tecnológica y el alcance multisectorial. Este resultado cuantitativo complementa la lectura visual del radar, confirmando que los marcos comparados presentan una alineación conceptual sólida.

3.4.7. Análisis Final de Resultados Cuantitativos y Cualitativos

El gráfico radar sintetiza los resultados cuantitativos de los seis criterios analizados, permitiendo visualizar de manera comparativa los niveles alcanzados por la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019. Los resultados evidencian que el **MCM 2019** presenta un desempeño consistentemente más alto, alcanzando puntajes máximos en pertinencia sectorial, tipos de competencias y formación/certificación, lo que confirma su fuerte orientación al contexto minero nacional y a la articulación con los sistemas educativos y de certificación laboral. En contraste, la **BS EN 15628:2014** muestra su mejor rendimiento en la estructura de niveles (valor 3) y en la vinculación con formación/certificación (valor 3), reflejando la claridad jerárquica y la movilidad internacional que entrega su alineación con el EQF.

Sin embargo, el radar también evidencia **oportunidades de mejora** para ambos marcos. La norma europea requiere mayor enfoque sectorial y la integración de competencias digitales y tecnológicas propias de la Industria 4.0, actualmente tratadas de manera genérica. Por su parte, el MCM 2019, si bien sobresale en pertinencia local, muestra un espacio de mejora en la **proyección internacional y en la movilidad transnacional**, aspectos en los cuales la BS EN 15628 resulta más sólida. Las **brechas identificadas** se concentran en tres dimensiones principales:

1. La falta de integración explícita de tecnologías emergentes en la EN 15628.
2. La limitada movilidad internacional en el MCM 2019.
3. La necesidad de actualizar de manera permanente ambos marcos frente a los cambios.

Estas brechas refuerzan la importancia de articular ambos instrumentos, de modo que la estandarización internacional se complemente con la pertinencia sectorial, garantizando perfiles

profesionales en mantenimiento que sean a la vez competitivos globalmente y contextualizados a las demandas de la minería chilena.

El valor del índice global de convergencia, equivalente al 81 %, evidencia una alta correspondencia entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019, reflejando una estructura metodológica y conceptual similar en la definición de niveles de cualificación, competencias y mecanismos de validación profesional. Sin embargo, este resultado no implica dependencia normativa, sino un análisis de convergencias y divergencias entre dos marcos desarrollados en contextos distintos.

La similitud de forma del 96 % muestra que ambos sistemas comparten una organización coherente basada en la progresión formativa y la jerarquización competencial, mientras que el solapamiento promedio del 45,8 % revela diferencias significativas en la flexibilidad tecnológica, la especialización sectorial y la aplicabilidad contextual. En este punto, diversos estudios destacan que la minería chilena avanza en la adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, aunque con brechas en automatización, analítica avanzada y competencias digitales, (Castillo-Vergara et al., 2024).

La BS EN 15628:2014 conserva un enfoque transversal y multisectorial, orientado a la estandarización europea, mientras que el MCM 2019 prioriza una orientación específica hacia el mantenimiento minero chileno, integrando competencias digitales, sostenibles y de seguridad operacional. En conjunto, el 81 % de convergencia global refleja una alineación estructural sólida, acompañada de divergencias funcionales esperadas, que confirman la adaptación del marco nacional a sus requerimientos productivos sin perder coherencia con los principios internacionales de cualificación profesional.

Limitaciones y Validez

Este estudio presenta limitaciones metodológicas y de alcance que deben ser reconocidas.

En primer lugar, la selección de criterios y su ponderación relativa ($\alpha = 0,6$) se basaron en un razonamiento analítico, pero no en consenso experto o validación empírica externa, lo que podría influir en la magnitud del índice global.

En segundo lugar, la pertinencia sectorial, incluida como criterio comparativo, introduce un sesgo favorable al MCM 2019, dado su diseño específicamente orientado a la minería, a diferencia del enfoque multisectorial de la BS EN 15628:2014.

En tercer lugar, el estudio se limitó a fuentes normativas y documentales, sin contrastación con datos de desempeño real del personal ni con procesos formativos en terreno, lo que restringe la validez externa del análisis.

Asimismo, el modelo no incorporó una evaluación de sensibilidad formal del índice global ante variaciones del parámetro $\alpha = 0,6$, ni una ponderación derivada de juicio experto (por ejemplo, mediante AHP o Delphi), lo que sería recomendable para futuras investigaciones.

A pesar de estas limitaciones, la metodología es reproducible, transparente y trazable, lo que garantiza su validez interna y su potencial de adaptación para estudios comparativos en otros sectores.

Discusión

El análisis comparativo entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 evidenció una alta coherencia estructural entre ambos marcos normativos, con un Índice Global de Convergencia del 81 %, como se observa en la subsección 3.4.5, que sintetiza la relación entre las dimensiones evaluadas. Este resultado refleja una alineación conceptual sólida en cuanto a la definición de niveles de cualificación, tipos de competencias y mecanismos de validación profesional. En la **Tabla 22**, donde se presentan los valores normalizados por criterio, y en las **Tablas 21 y 22**, correspondientes a las matrices de convergencia y solapamiento, se evidencia que la similitud de forma alcanza un **96 %**, confirmando una fuerte correspondencia jerárquica y de progresión entre los niveles de ambos marcos. Este hallazgo demuestra que, pese a operar en contextos institucionales distintos, ambos instrumentos comparten una misma lógica de profesionalización del mantenimiento y de mejora continua de la gestión de competencias técnicas.

No obstante, la coincidencia de magnitud fue menor de un 45,8 % lo que sugiere diferencias significativas en la profundidad tecnológica y en la orientación sectorial. La BS EN 15628:2014 mantiene un enfoque transversal y multisectorial, diseñado para servir como referencia en distintos contextos industriales, mientras que el MCM 2019 se especializa en la minería chilena, incorporando elementos formativos que responden a las necesidades productivas locales. Este mayor nivel de especialización se refleja en el gráfico radar comparativo **Figura 11**, donde el MCM 2019 muestra valores superiores en los criterios de flexibilidad tecnológica, pertinencia sectorial y actualización continua. Según (Castillo-Vergara et al., 2024), esta orientación responde a la creciente adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 automatización, sensorización y analítica avanzada, que demandan nuevas competencias en sostenibilidad, gestión de datos y control de procesos.

La aplicación del modelo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) permitió examinar la integración de los principios de mejora continua en ambos marcos. En la **Tabla 20**, se observa cómo la BS EN 15628:2014 presenta un mayor desarrollo en las fases de Planificar y Verificar, donde se establecen criterios normativos y mecanismos de seguimiento del desempeño del personal técnico. En contraste, el MCM 2019 exhibe fortalezas en las fases de Hacer y Actuar, al operacionalizar rutas formativas mediante programas como EMTP, FTNS y la certificación ChileValora, generando una conexión efectiva entre la formación y el desempeño laboral. Esta diferencia refuerza la idea de que el MCM 2019 no busca reemplazar la estructura europea, sino adaptarla al contexto productivo nacional, fortaleciendo la relación entre educación técnico-profesional y las necesidades reales del sector minero.

Desde la perspectiva metodológica, el uso del índice compuesto de convergencia, desarrollado a partir de los datos de la **Tabla 21**, permitió integrar dimensiones cualitativas y cuantitativas en un valor sintético reproducible. El método combinó la *similitud de forma* ($C = 0,96$) y el *solapamiento de magnitud* ($\bar{O} = 0,458$) mediante una *media geométrica ponderada* expresada como:

$$I_c = C^{0,6} \bar{O}^{0,4}$$

Esta formulación, fundamentada en los enfoques multicriterio de Nardo et al. (2005) y en las métricas de similitud de Pastore et al. (2019), permitió cuantificar el grado de alineación estructural entre ambos marcos, priorizando la coherencia conceptual sobre la coincidencia numérica, en concordancia con la naturaleza comparativa del estudio. La ponderación $\alpha = 0,6$ se justificó al asignar mayor relevancia a la estructura y forma de los marcos, lo que permite interpretar la convergencia como equivalencia conceptual más que como igualdad operacional.

Los resultados reflejan que la relación entre ambos marcos es complementaria más que sustitutiva. La BS EN 15628:2014 puede considerarse un estándar internacional de referencia, útil para la planificación y verificación de competencias, mientras que el MCM 2019 funciona como un instrumento operativo adaptado al contexto chileno. En conjunto, ambas estructuras logran equilibrar estandarización y pertinencia sectorial, principio coherente con la gestión de activos según la International Organization for Standardization (2014), que promueve la deseada combinación de costo, riesgo y desempeño a lo largo del ciclo de vida de los activos. El índice global muestra una convergencia global alta, pero no absoluta, lo que confirma que el MCM 2019 ha evolucionado hacia un modelo de cualificación propio, coherente con los estándares internacionales y con la transformación tecnológica del sector minero chileno.

Al revisar los objetivos planteados, se confirma su cumplimiento. El objetivo general se concreta al identificar brechas, convergencias y oportunidades de articulación, mientras que los objetivos específicos se reflejan en el análisis detallado de los marcos, la identificación de diferencias y la propuesta de una visión complementaria. La memoria no solo entrega una comparación descriptiva, sino que también interpreta críticamente el valor de integrar una mirada internacional con una perspectiva contextualizada al sector.

Desde el punto de vista práctico, los hallazgos dejan dos ideas clave. Primero, un marco internacional por sí solo no garantiza pertinencia sectorial, y un marco nacional sin referencia internacional carece de reconocimiento fuera del país. Segundo, la articulación de ambos instrumentos se proyecta como la estrategia más coherente para asegurar movilidad laboral y pertinencia local. En este sentido, tanto instituciones públicas como educativas y empresas mineras pueden utilizar estos marcos como guía para fortalecer programas de formación y certificación.

Al analizar los resultados bajo el criterio original de pertinencia sectorial, el MCM 2019 aparecía con un mejor desempeño global frente a la BS EN 15628:2014 de la **Figura 10**, lo que reflejaba su fuerte vinculación con el contexto minero chileno. Sin embargo, al realizar un ejercicio de ajuste eliminando dicho criterio, se obtuvo un nuevo perfil comparativo como vemos en la **Figura 12**, en el que la norma europea evidencia un comportamiento más equilibrado y robusto en los cinco criterios restantes: estructura, tipos de competencias, vinculación con formación y certificación, competencias digitales y orientación a resultados. Este contraste muestra que la pertinencia

sectorial, aunque relevante para la aplicabilidad local, introduce un sesgo que favorece al MCM en deterioro con la proyección internacional. En cambio, al remover ese factor, la BS EN 15628:2014 se posiciona como un marco con mayor coherencia y capacidad de movilidad transnacional, confirmando la necesidad de repensar cómo se pondera la pertinencia sectorial en futuros estudios de cualificaciones.

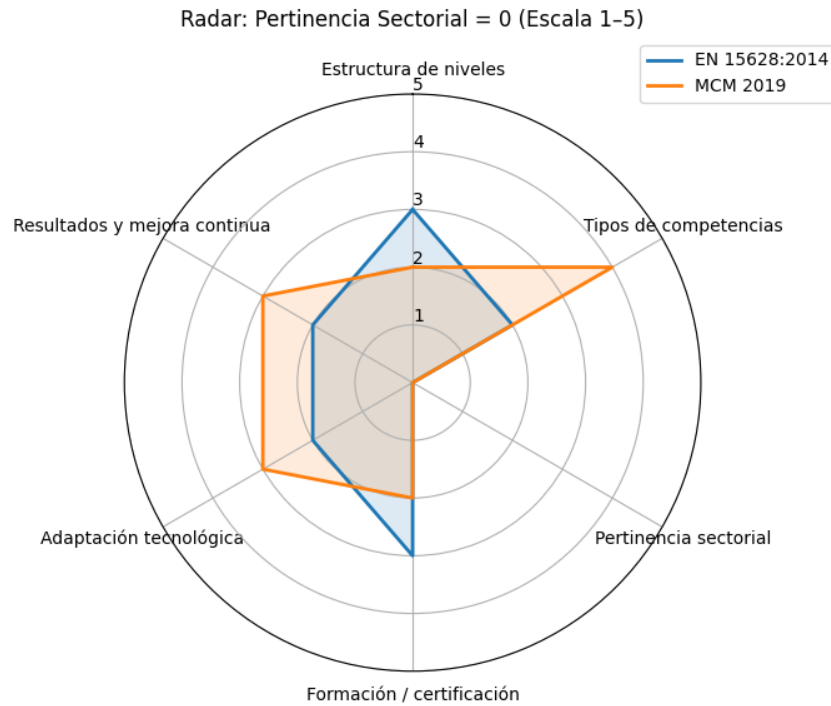


Figura 12: *Convergencias y Divergencias sin Criterio de Pertinencia Sectorial.*

Fuente: *Elaboración propia en Python.*

En definitiva, el análisis no se limita a comparar normas, sino que aporta un marco interpretativo útil para orientar la actualización del MCM 2019 con criterios internacionales y, al mismo tiempo, mostrar cómo la BS EN 15628:2014 puede nutrirse de experiencias sectoriales locales. Esto refuerza la idea de que la complementariedad entre lo global y lo nacional es la vía más efectiva para desarrollar capital humano en mantenimiento competitivo, adaptable y sostenible.

Estos resultados se alinean con las tendencias internacionales observadas en el desarrollo de marcos de cualificación sectoriales, como el International Qualification Framework for the Raw Materials Sector, European Materials Research Society y other consortium partners (2020) que promueve la interoperabilidad entre sistemas formativos y productivos en minería y materias primas. Esta convergencia global refuerza la relevancia de articular la BS EN 15628:2014 con el MCM 2019 como paso previo hacia un esquema de cualificación internacional del mantenimiento.

Conclusiones

El estudio comparativo entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 permitió evidenciar una coherencia estructural del 81 %, resultado que confirma la compatibilidad conceptual entre ambos marcos y su potencial de articulación en la formación y certificación del personal de mantenimiento. Se logró el objetivo general del trabajo al identificar sus convergencias, divergencias y oportunidades de mejora, demostrando que ambos instrumentos comparten una misma lógica de profesionalización, aunque difieren en su alcance y nivel de especialización.

La BS EN 15628:2014 se consolida como un referente internacional de estandarización y movilidad profesional, sustentado en su estructura jerárquica de competencias y en su alineación con el Marco Europeo de Cualificaciones (EQF). Este carácter multisectorial fortalece su aplicabilidad como norma base, pero también revela limitaciones en su adaptación a contextos productivos específicos como la minería. En este sentido, la MCM 2019 representa una respuesta contextualizada, capaz de traducir los principios internacionales en trayectorias formativas articuladas con la educación técnica nacional (EMTP, FTNS y ChileValora), integrando competencias digitales y sostenibles propias de la Industria 4.0.

El análisis metodológico mediante el modelo PHVA y el índice global de convergencia demostró la pertinencia de aplicar herramientas de mejora continua a la comparación normativa. Este enfoque permitió cuantificar la alineación estructural y evidenciar que la relación entre ambos marcos no es de sustitución, sino de complementariedad estratégica: mientras la BS EN 15628:2014 aporta la estandarización internacional, el MCM 2019 aporta pertinencia sectorial, flexibilidad y proyección tecnológica. En conjunto, ambos sistemas promueven un equilibrio entre costo, riesgo y desempeño, coherente con los principios de la ISO 55000 (2014).

Finalmente, los resultados de este estudio reafirman que la consolidación de un marco de cualificación para el mantenimiento debe sustentarse en un equilibrio entre normalización internacional y contextualización nacional. La convergencia del 81 % alcanzada entre la BS EN 15628:2014 y el MCM 2019 representa una oportunidad concreta para fortalecer la movilidad laboral, la transferencia de conocimiento y la profesionalización del mantenimiento en Chile. Asi-

mismo, abre líneas futuras de trabajo orientadas a la validación empírica de competencias en terreno y a la incorporación de nuevas tecnologías formativas en los procesos de certificación.

A futuro, sería pertinente avanzar hacia un marco de cualificación regional o internacional que incorpore la experiencia chilena en minería dentro de esquemas globales como el International Qualification Framework for the Raw Materials Sector (European Materials Research Society y other consortium partners, 2020). Tal integración permitiría homologar competencias de mantenimiento y facilitar la movilidad profesional en industrias extractivas bajo estándares compartidos.

Propuestas a Trabajos Futuros

El análisis desarrollado en esta memoria constituye un primer paso en la comparación entre la Norma BS EN 15628:2014 y el MCM 2019, aportando evidencia sobre sus convergencias, divergencias y potencial de articulación. No obstante, dada la naturaleza dinámica de la industria del mantenimiento y los cambios tecnológicos que plantea la transformación digital, se reconoce que la investigación puede ser ampliada y profundizada en distintas direcciones.

En este capítulo se presentan propuestas de proyección y líneas de trabajo futuro orientadas a fortalecer la pertinencia, aplicabilidad y actualización de los marcos de cualificación en mantenimiento. Estas iniciativas buscan consolidar un enfoque que combine la estandarización internacional con la relevancia sectorial, asegurando que los perfiles profesionales se mantengan competitivos y sostenibles en el tiempo.

A. Validación empírica en terreno

- Aplicar los criterios comparativos en empresas mineras mediante entrevistas, encuestas y análisis de perfiles laborales reales, con el fin de contrastar la pertinencia de los marcos normativos en la práctica.

B. Aplicación sectorial

- Extender el estudio a otros sectores industriales críticos (energía, manufactura, transporte), evaluando el grado de adaptación de la EN 15628 y la aplicabilidad del MCM fuera de la minería.

C. Integración con Industria 4.0

- Incorporar explícitamente competencias digitales, de analítica de datos y de automatización, para evaluar si los marcos actuales se encuentran alineados con la transformación tecnológica en curso.

D. Diseño de un modelo híbrido

- Proponer un esquema de cualificación que combine la estandarización internacional de la EN 15628 con la pertinencia local del MCM, asegurando movilidad global y relevancia sectorial.

E. Estudios longitudinales

- Realizar un seguimiento periódico de la evolución de las competencias en mantenimiento, considerando cambios tecnológicos, nuevos estándares y políticas públicas que incidan en la formación del capital humano.

Referencias

- Alianza CCM-Eleva. (2025). *El desafío de construir equipos para enfrentar el futuro minero*. Descargado de <https://is.gd/iIaXIW> (Consultado el 31 de octubre de 2025.)
- Australian Qualifications Framework Council. (2013). *Australian qualifications framework, second edition*. Descargado de <https://is.gd/mIMwxr>
- British Standards Institution. (2014). *Bs en 15628:2014 - maintenance – qualification of maintenance personnel*. London, UK: BSI Group.
- British Standards Institution (BSI). (2014). *Bs en 15628:2014 — maintenance — qualification of maintenance personnel [Manual de software informático]*. Bruselas, Bélgica. (Adaptado de la página 25)
- Castillo-Vergara, M., et al. (2024). Adoption of industry 4.0 technologies in chilean mining. *Mining*, 4(4), 913–925. Descargado de <https://www.mdpi.com/2673-6489/4/4/51> doi: 10.3390/mining4040051
- Consejo de Competencias Mineras. (2019). *Marco de cualificaciones para la minería*. Santiago, Chile: Consejo Minero y ChileValora.
- Consejo de Competencias Mineras and Eleva. (2023). *Estudio de fuerza laboral de la gran minería chilena 2023–2032*. Descargado de <https://is.gd/wc5yHU>
- Consejo de Competencias Mineras (CCM) y Programa Eleva. (2025). *Ruta formativo-laboral: Mantenimiento mecánico*. Descargado de <https://is.gd/tkzTxf> (Consultado el 31 de octubre de 2025)
- Consejo de Competencias Mineras y Alianza Eleva. (2023). *Impacto de las nuevas tecnologías en la minera chilena: desarrollo de capital humano avanzado* (Inf. Téc.). CCM-Eleva. Descargado de <https://is.gd/SeqXLg> (Revisado el desarrollo de competencias digitales y técnicas en la minería chilena.)
- Council of the European Union. (2017). *Council recommendation on the european qualifications framework for lifelong learning (2017/c 189/03)*. Descargado de <https://is.gd/HJEgXg>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. Cambridge, MA: MIT Press. Descargado de <https://is.gd/mdVFzB>
- European Committee for Standardization. (2014). *En 15628:2014 – maintenance – qualification of maintenance personnel*. Brussels, Belgium: CEN.
- European Committee for Standardization (CEN). (2010). *En 13306:2010 — maintenance terminology [Manual de software informático]*. Brussels, Belgium. (Provides standardized terminology used in maintenance management and qualification systems.)
- European Materials Research Society, y other consortium partners. (2020). *International qualification framework for the raw materials sector – deliverable 31* (Inf. Téc.). Research Innovation Programme Raw Materials. Descargado de <https://is.gd/BCg5ig> (Accedido: 11 Nov 2025)
- for Standardization, E. C. (2009). *Fpren 15628:2009 maintenance – qualification of maintenance personnel*. Descargado de <https://standards.cen.eu> (Draft European Standard)
- for Standardization, I. O. (2018). *Iso 19011:2018 — guidelines for auditing management systems [Manual de software informático]*. ISO. Descargado de <https://www.iso.org/standard/70017.html> (Provides guidance on auditing management systems, including principles, managing audit programs, and conducting audits.)

- Fortega. (2024, 25 de 09). *Más de 34.000 nuevos talentos se necesitan en el sector minero para la próxima década*. Descargado de <https://is.gd/G6WeLI> (Consultado en noviembre de 2025)
- Fundación Chile. (2021). *Fuerza laboral de mantenimiento en la industria chilena: Mantenimiento 4.0*. Descargado de <https://fch.cl/publicaciones>
- German Rectors' Conference (HRK). (2017). *Qualifications framework for german higher education degrees (attached to the dqr)*. Descargado de <https://is.gd/d8oB5x>
- Gits, C. W. (1994). *Proactive maintenance for mechanical systems*. Boca Raton, USA: CRC Press. (Describe los fundamentos del mantenimiento proactivo y su aplicación en la ingeniería industrial.)
- Gobierno de España. (2022). *Real decreto 272/2022, por el que se establece el marco español de cualificaciones para el aprendizaje permanente (mecu)*. Descargado de <https://is.gd/WNFb1N> (Artículos 1 y 4)
- Instituto Internacional de Estudios en Seguridad Global (INISEG). (2023). *Infografía: Marco europeo de cualificaciones (eqf)*. Descargado de <https://www.iniseg.es/recursos/infografia-eqf.pdf> (Recurso informativo sobre los niveles y descriptores del Marco Europeo de Cualificaciones (EQF). Consultado el 31 de octubre de 2025.)
- International Organization for Standardization. (2014). *Iso 55000:2014 – asset management – overview, principles and terminology*. Geneva, Switzerland: ISO.
- International Organization for Standardization. (2015). *Iso 9001:2015 – quality management systems – requirements*. Geneva, Switzerland. Descargado de <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *Iso 55002:2018 — asset management — management systems — guidelines for the application of iso 55001 [Manual de software informático]*. Geneva, Switzerland. Descargado de <https://www.iso.org/standard/70300.html> (Provides detailed guidance for implementing and maintaining asset management systems.)
- International Organization for Standardization. (2019). *Iso 10015:2019 — quality management — guidelines for competence management and people development [Manual de software informático]*. Geneva, Switzerland. Descargado de <https://www.iso.org/standard/69413.html> (Outlines processes for assessing, developing, and maintaining personnel competence.)
- Kelly, A. (2006). *Maintenance strategy: Business-centered maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Manning, C. D., Raghavan, P., y Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. Descargado de <https://nlp.stanford.edu/IR-book/> (Capítulo 6: Modelo vectorial y medida de similitud del coseno.)
- Miles, M. B., Huberman, A. M., y Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3.^a ed.). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. Descargado de <https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-data-analysis/book239534>
- Minero, C., y Chile, F. (2021). *Modelo de competencias transversales para la industria minera 4.0* (Inf. Téc.). Consejo Minero. Descargado de <https://is.gd/nFEhoj>
- Ministerio de Educación, y ChileValora. (2019). *Marco de cualificaciones técnico profesional para Chile*. Gobierno de Chile. Descargado de

- <https://marcocualificaciones.mineduc.cl/> (Disponible en línea)
- Ministerio de Educación de Chile. (2017). *Marco de cualificaciones técnico-profesional (mctp)*. Descargado de <https://marcocualificaciones.mineduc.cl/>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance (2nd ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance (2.ª ed.)*. New York, USA: Industrial Press Inc.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., y Giovannini, E. (2005). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide* (Inf. Téc.). Paris, France: OECD and Joint Research Centre (JRC). Descargado de <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf> (Recomendaciones sobre normalización, ponderación y agregación (incluida la media geométrica).) doi: 10.1787/533411815016
- OECD. (2023). *Mining regions and cities in the region of antofagasta, chile* (Inf. Téc.). Organisation for Economic Co-operation and Development. Descargado de <https://is.gd/kJY6eg>
- Parra Márquez, C. A. and Crespo Márquez, A. (2007). *Ingeniería de mantenimiento: Fundamentos para la gestión del mantenimiento físico de los activos*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Pastore, M., Calcagni, A., y Zanon, A. (2019). Measuring distribution similarities between samples: A distribution-free overlapping index. *Frontiers in Psychology, 10*, 1089. Descargado de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2019.01089> doi: 10.3389/fpsyg.2019.01089
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). (2023). *Anuario de la minería de Chile 2023* (Inf. Téc.). Santiago, Chile. Descargado de https://www.sernageomin.cl/pdf/anuario/Anuario_de_la_mineria_de_chile_2023_web.pdf (La minería representó un 11,9 % del PIB nacional en 2023.)
- Smith, R., y Hinchcliffe, G. (2003). *Rcm—gateway to world class maintenance*. Oxford, UK: Elsevier.
- Sociedad Nacional de Minería (SONAMI). (2025). *900 mil empleos y 10 % del pib: las positivas cifras de sonami para la minería chilena en 2025*. Descargado de <https://is.gd/edI0bo> (El sector genera 280 000 empleos directos y 620 000 empleos indirectos. Consultado el 31 de octubre de 2025.)
- Tierra Amarillano. (2023, 18 de 10). *En total serán más de 18 mil personas vinculadas al mantenimiento minero las que necesitará la industria durante la próxima década*. Descargado de <https://is.gd/7v0Ysc> (Accedido en noviembre 2025)
- Universidad Adolfo Ibáñez (UAI). (2025). *Competencias digitales: La deuda formativa de la minería chilena*. Descargado de <https://is.gd/2ywtNw> (Consultado el 31 de octubre de 2025.)
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods (5.ª ed.)*. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. Descargado de <https://is.gd/Tq2N7x>

Anexos

Anexo 1: *Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.1*

(Estructura de niveles de cualificación), sin pertinencia sectorial.

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Puntos de coincidencia	1	1
Diferencias estructurales	1	1
Oportunidades de mejora formativa	0	0
Movilidad y reconocimiento	1	0
Actualización y proyección futura	1	0
Total indicadores presentes	4 de 5	2 de 5

Nota. 1 = presente; 0 = ausente. Los indicadores sectoriales fueron eliminados en este ajuste.

Anexo 2: *Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.2*

(Tipos de competencias), sin pertinencia sectorial.

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Puntos de coincidencia	1	1
Diferencias estructurales	0	1
Oportunidades de mejora formativa	0	1
Movilidad y reconocimiento	1	0
Actualización y proyección futura	0	0
Total indicadores presentes	2 de 5	4 de 5

Nota. 1 = presente; 0 = ausente. Los indicadores sectoriales fueron eliminados en este ajuste.

Anexo 3: *Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.4*

(Vinculación con formación y certificación), sin pertinencia sectorial.

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Puntos de coincidencia	1	1
Diferencias estructurales	1	1
Oportunidades de mejora formativa	0	0
Movilidad y reconocimiento	1	0
Actualización y proyección futura	0	0
Total indicadores presentes	3 de 5	2 de 5

Nota. 1 = presente; 0 = ausente. Los indicadores sectoriales fueron eliminados en este ajuste.

Anexo 4: *Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.5**(Competencias digitales y tecnológicas), sin pertinencia sectorial.*

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Puntos de coincidencia	1	1
Diferencias estructurales	0	1
Oportunidades de mejora formativa	0	0
Movilidad y reconocimiento	1	0
Actualización y proyección futura	0	1
Total indicadores presentes	2 de 5	3 de 5

Nota. 1 = presente; 0 = ausente. Los indicadores sectoriales fueron eliminados en este ajuste.

Anexo 5: *Matriz comparativa ajustada del criterio 6.3.6**(Orientación a resultados y mejora continua), sin pertinencia sectorial.*

Indicador metodológico	BS EN 15628:2014	MCM 2019
Puntos de coincidencia	1	1
Diferencias estructurales	0	1
Oportunidades de mejora formativa	0	1
Movilidad y reconocimiento	1	0
Actualización y proyección futura	0	0
Total indicadores presentes	2 de 5	3 de 5

Nota. 1 = presente; 0 = ausente. Los indicadores sectoriales fueron eliminados en este ajuste.