

PROGRAMA DE CURSO MINERÍA INTELIGENTE

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería de Minas					
Nombre del curso	Minería inteligente	Código	MI5075	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Smart Mining</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	--	Trabajo personal	7
Carácter del curso	Obligatorio			Electivo	X	
Requisitos	MI5115: Diseño y planificación de minas a cielo abierto, MI5120: Diseño y planificación de minas subterráneas					

B. Propósito del curso:

En un entorno empresarial caracterizado por la globalización, el rápido cambio tecnológico y las cambiantes necesidades de los clientes, las organizaciones deben actuar en forma cada vez más innovadora para mantener su ventaja competitiva. Este es un curso teórico - práctico que busca introducir los principales conceptos de la minería inteligente, la cual es la antesala de la mina autónoma o del futuro.

El funcionamiento de una mina inteligente se basa en la captura y procesamiento de datos de campo en tiempo real. Estos datos provienen desde la maquinaria (instalaciones, personas, etc.) ubicada en diferentes puntos de la mina y corresponden a las actividades en proceso, acciones, consultas, estatus, ubicaciones o posiciones relativas, alarmas o síntomas, etc. Lo anterior permite emular/visualizar una mina virtual para operar, pronosticar o anticipar acciones u eventos, permitiendo con esto, un mejor control de la gestión de las operaciones mina y lograr la optimización de los recursos, mejorar la calidad, bajar costos operacionales y detectar condiciones u acciones contra la seguridad.

La minería chilena está a la vanguardia y existen varios casos de tecnologías exitosas y recientes, por ejemplo los sistemas de monitoreo y control de flotas en tiempo real para la minería subterránea y rajo abierto, las tecnologías de posicionamiento satelital para control de zonas de operación, el control anticollisiones, control de fatiga operadores, los sistemas de control de acceso a las minas, monitoreo de taludes, la automatización y robótica, los cuales se pueden incorporar en diferentes etapas de la cadena de producción minera.

En este curso, las y los estudiantes aprenderán modelos y enfoques para comprender cómo las empresas productivas y de servicios pueden aumentar su capacidad de tecnificación y al

mismo tiempo obtendrán una comprensión de los principales desafíos en la ruta de la minería inteligente autónoma.

El curso tributa a las siguientes competencias del perfil de egreso:

CE1: Analizar datos y elaborar modelos para la caracterización geo-minero-metalúrgica de materiales, recursos minerales y procesos.

CE4: Gestionar, coordinar y supervisar de manera sustentable operaciones y proyectos en evaluación de yacimientos, geomecánica, explotación minera, procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.

CE5: Evaluar y/u optimizar técnica y económicamente recursos, procesos y proyectos de ingeniería en el ámbito de la industria minera, incorporando las dimensiones sociales, ambientales e interpersonales.

CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

CG6: Innovación

Concebir ideas viables y novedosas que generen valor para resolver necesidades latentes, materializadas en productos, servicios o en mejoras a procesos dentro de un sistema u organización, considerando el contexto sociocultural y económico y los beneficios para el usuario.

CG7: Emprendimiento

Identificar y evaluar oportunidades aprovechables para crear e introducir nuevos servicios o productos con valor económico y social, a partir de la toma de decisiones en un contexto complejo de incertidumbre, demostrando motivación e iniciativa en su quehacer.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1	RA1: Analiza las principales tecnologías estratégicas para la minería (monitoreo, automatización y robótica), identificando tendencias en las diferentes áreas del negocio minero y la cadena de valor y evaluando el impacto que estas tendencias generan en el mediano y largo plazo en la industria.
CE4	RA2: Utiliza conceptos de monitoreo remoto, de automatización y de robótica, a fin de sugerir soluciones creativas y que generen valor a problemas de competitividad (seguridad, productividad, costos, entre otros) del negocio minero.
CE5, CG5	RA3: Evalúa el impacto socioeconómico de tecnologías aplicadas y estratégicas en la cadena de valor, considerando aspectos sociales, el capital humano, la seguridad, la productividad y los costos, a fin de comprender la importancia de la industria minera en el ecosistema.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA4: Expone, en forma oral o en formato tipo pitch, sobre factores de éxito en la implementación de innovaciones tecnológicas en minería, investigando estas tendencias en minería, a fin de explicar, de forma clara, estructurada y sintética, los impactos, mejoras y ganancias.
CG3	RA5: Analiza cómo la digitalización y automatización impactarán la minería (manejo de información sensible, capital humano, comunidades, respeto por las personas y su desarrollo, etc.), comprendiendo que éstas son tecnologías estratégicas y aplicadas en la cadena de valor.
CG6, CG7	RA6: Identifica una problemática en operaciones unitarias o procesos mineros que requiere de soluciones creativas y que agreguen valor, en base a tecnologías de monitoreo remoto, tecnologías de automatización y robotización, provenientes de otras industrias, de la academia o que sean exitosas en otras regiones mineras.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Situación actual de la industria minera	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Situación actual de la industria minera. 1.2. Desafíos de la industria. 1.3. Las tendencias tecnológicas. 1.4. Estrategias y tecnología. 1.5. Cadena de valor del negocio minero. 1.6. Tecnologías aplicadas y su clasificación. 1.7. Tecnologías aplicadas y estratégicas en los procesos mineros. 1.8. Tecnologías estratégicas en los procesos mineros.		El/la estudiante: 1. Analiza las principales tendencias tecnológicas, considerando los desafíos actuales de la industria minera. 2. Clasifica las principales tecnologías estratégicas para la minería, diferenciándolas por su diseño, arquitectura y alcance dentro de la industria minera. 3. Relaciona las tecnologías estratégicas y aplicadas con los diferentes procesos del negocio minero (extracción y procesamiento).	
Bibliografía de la unidad		[1, 2, 3, 4 y 5]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA5	Fundamentos de minería inteligente	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Antecedentes generales de la minería inteligente. 2.2. Barreras de entrada de la industria minera. 2.3. Aportes y factores clave de éxito. 2.4. Líneas Tecnológicas-Evolución de La Tecnología Minera. 2.5. Evolución a la Industria (Ind. 4.0). 2.6. Interoperabilidad, e hiperconectividad digital. 2.7. Ruta a la mina autónoma.		El/la estudiante: 1. Describe conceptos asociados a la minería inteligente, por ejemplo, Big data, IOT, entre otros. 2. Analiza el impacto de las tecnologías inteligentes en el negocio minero. 3. Identifica las barreras de entrada que existen en la industria tradicional para adoptar nuevas formas de hacer minería en base a la minería inteligente. 4. Analiza dilemas éticos asociado a la forma de hacer minería, en el contexto de la minería inteligente, considerando cadena de valor, barreras de entrada, manejo de la información en el negocio minero.	
Bibliografía de la unidad		[3, 4, 5, 6 y 9]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6	Control y optimización de operaciones mineras	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Soluciones inteligentes de monitoreo remoto.</p> <p>3.2. Gestión minera con optimización en tiempo real.</p> <p>3.3. Salas de control o de operación remota (infraestructura, comunicaciones, redes, etc.).</p> <p>3.4. Modelos de optimización y control (simuladores).</p> <p>3.5. Operación Asistida/Teleoperación Remota.</p> <p>3.6. Conducción asistida para incrementar productividad.</p> <p>3.7. Proximidades/Sensórica y Percepción.</p> <p>3.8. Control de Calidad /GPS y Visión.</p> <p>3.9. Productividad de mantenimiento (Signos Vitales).</p> <p>3.10. Administración del cambio.</p> <p>3.11. Detección/Sensórica y Percepción (Neumáticos, Combustible, Pesómetros, etc.).</p> <p>3.12. Posicionamiento / GPS y Tag.</p> <p>3.13. Monitoreo de condiciones.</p> <p>3.14. Productividad tecnológica Impacto y valor.</p> <p>3.15. Casos de éxito.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza conceptos de monitoreo remoto, para comprender las distintas tecnologías y sus casos de éxito en el negocio minero. 2. Identifica una problemática asociada a operaciones unitarias o procesos mineros, que requiere de soluciones creativas y que agreguen valor, en base a tecnologías de monitoreo remoto, provenientes de otras industrias, de la academia o que sean exitosas en otras regiones mineras. 3. Mide indicadores clave de gestión minera, para seleccionar la mejor opción de recomendación, a partir de un caso de negocio minero. 4. Analiza el impacto de la implementación de las tecnologías inteligentes de monitoreo en alguna operación unitaria o proceso. 5. Analiza dilemas éticos asociado a la forma de hacer minería, en el contexto del control y optimización de operaciones mineras, considerando el uso de tecnologías de monitoreo versus las formas de trabajo remoto, teletrabajo, contratos de trabajos. 6. Reconoce los problemas existentes en la forma de hacer minería y los efectos futuros que genera, logrando enunciarlos en diferentes dimensiones de la sustentabilidad (glaciares, comunidades, agua, entre otros). 7. Sugiere una estrategia de administración del cambio en la implementación de las tecnologías inteligentes en alguna operación unitaria. 8. Expone, en forma oral o en formato pitch, los resultados de una propuesta de valor, considerando la tecnología escogida (control y automatización), las variables de 	

	decisión y los factores clave de éxito, así como el impacto en el negocio minero.
Bibliografía de la unidad	[5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6	Automatización y robotización de procesos mineros	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Soluciones inteligentes de automatización y robótica. 4.2. Gestión minera autónoma con automatización y robótica. 4.3. Automatización de procesos (infraestructura, comunicaciones, redes, etc.). 4.4. Automatización y Robótica en FURE. 4.5. Automatización y Robótica UG. 4.6. Automatización y Robótica OP. 4.7. Inspección robotizada de áreas inseguras. 4.8. Automatización para manipulación de objetos peligrosos. 4.9. Automatización para manipulación de objetos pesados. 4.10. Operaciones de rescate asistidas. 4.11. Robótica para Limpieza de equipos e infraestructura. 4.12. Productividad tecnológica Impacto y valor. 4.13. Casos de éxito de automatización y robótica.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> Utiliza conceptos de automatización y robotización, para comprender las distintas tecnologías y sus casos de éxito en el negocio minero. Identifica una problemática asociada a operaciones unitarias o procesos mineros, que requiere de soluciones creativas y que agreguen valor, en base a tecnologías de Automatización y Robotización, provenientes de otras industrias, de la academia o que sean exitosas en otras regiones mineras. Mide indicadores clave de gestión minera, para seleccionar la mejor opción de recomendación en el negocio minero, a partir de un caso de negocio. Analiza el impacto de la implementación de las tecnologías inteligentes de automatización y robótica en alguna operación unitaria o proceso. Analiza dilemas éticos asociado a la forma de hacer minería, en el contexto de automatización y robótica de procesos mineros, considerando el uso de tecnologías de automatización y robótico versus sistemas convencionales. Reconoce los problemas existentes en la forma de hacer minería y los efectos futuros que genera, logrando enunciarlos en diferentes dimensiones de la sustentabilidad (seguridad de las personas, trabajo repetitivo, exposición al riesgo). Sugiere una estrategia de administración del cambio en la implementación de las tecnologías inteligentes de automatización y robótica en algún proceso minero. 	

	8. Expone, en forma oral o en formato pitch, los resultados de una propuesta de valor, considerando la tecnología escogida (automatización y robótica), las variables de decisión y los factores clave de éxito, así como el impacto en el negocio minero.
Bibliografía de la unidad	[11, 12, 13, 14 y 15]

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

La estrategia es activo - participativa:

- Clase expositivas.
- Lecturas de textos y videos especializados.
- Análisis de caso
- Visita a terreno
- Presentaciones orales

F. Estrategias de evaluación:

La evaluación es de proceso a través de instancias de evaluación tales como:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controles 	Evalúan RA1 Evalúan RA2 Evalúan RA3
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informe de visita a terreno 	Evalúa RA1 Evalúa RA2 Evalúa RA5 Evalúa RA6
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exposición 	Evalúa RA2, RA4, RA6
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de Lecturas/Videos sobre temas especializados 	Evalúan RA3, RA4, RA5, RA6

G. Recursos bibliográficos:

- [1] Risks and opportunities for mining. Global Outlook 2020, KPMG, 2020.
- [2] Smart Mining Solution - Global Market Outlook (2019-2027) Research and Markets, junio 2020.
- [3] Carmona, C., 2016. Tecnología aplicada a la minería. Revista Minerales, vol. 284, pp. 16-30. Publicación editada por el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- [4] Carmona, C., 2018. La minería inteligente interoperable permitirá mejorar la competitividad de la industria minera. Revista Minerales, vol. 289, pp. 5-11. Publicación editada por el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.
- [5] Tendencias en Smart Mining, Revista Gerencia, noviembre de 2020.
- [6] Informe Línea base – Minería 4.0, Intercop Minería Inteligente y Programa Tecnológico Estratégico: Creación y Adopción de Estándares Internacionales para la Interoperabilidad de la Minería.
- [7] Jang, H., & Topal, E., 2020. Transformation of the Australian mining industry and future prospects. Kalgoorlie: Mining Technology: Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy.
- [8] CSIRO Australia, 2017. Mining Equipment, Technology and Services.
- [9] Smart Mining Market Expected to Witness High Demand, Provisions Associated with Smart Innovation Will Support Growth, Says Fortune Business Insights, Globenewswire, 9 de febrero de 2021.
- [10] ABB calls for more collaboration with OEMs to accelerate transition to all-electric mines as it signs memorandum with Hitachi Construction Machinery, ABB, 29 de marzo de 2021.
- [11] Susskind, R. & Susskind, D., 2016. El Futuro de las Profesiones, Cómo el trabajo transformará el trabajo de los futuros Humanos. Teell Editorial SL.
- [12] Valente, E., 2018. ¿Es la transformación digital la respuesta a los desafíos de las empresas mineras? Revista EY Building a better working world. Recuperado de www.eychile.cl [Último acceso: 05 Octubre 2020].
- [13] Deming, W.E., 1986. Out of the Crisis. Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study
- [14] CCM 2018-Impacto de las nuevas tecnologías en las competencias requeridas por la industria minera.
- [15] Hernández, A., 2019. Automatización y/o La Robótica-tendencias y rev.4.0. U. Politécnica de Cataluña.

H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso

Vigencia desde:	Otoño 2024
Elaborado por:	Carlos Carmona, Javier Arrisueño
Validado por:	Validador académico: Xavier Emery, Gonzalo Montes
Revisado por:	Área de Gestión Curricular