

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTORES:

RICKY MANUEL JEREZ MALDONADO
MIGUEL ANGEL MONTERO LAGUADO

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA DE MINAS

DIRECTOR:

RAIMUNDO ALONSO PEREZ GOMEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (MONOGRAFIA):

PREVENCION Y CONTROL DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES LABORALES
GENERADAS POR CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DEFICIENTE EN MINERIA
SUBTERRANEA

En el presente trabajo monográfico se compilo la información documental y descriptiva de fuentes de información confiables como lo son los artículos de investigación, estudios médicos, libros, revistas y publicaciones de carácter científico, normativas nacionales e internacionales, enfocados en la temática de iluminación en Minería Subterránea y su relación con las condiciones de seguridad a la hora de realizar dichas actividades. A partir de esta información se realizaron los análisis evaluativos sobre el factor de riesgo físico por iluminación deficiente para el desarrollo de las medidas de prevención y de control que se efectuaron para disminuir los índices de accidentabilidad como los de tipo SFT y de la generación de enfermedades laborales por una exposición prolongada, logrando aportar varias sugerencias provenientes de dicha información como son los niveles de iluminación para labor o área minera y de manera análoga permitir la creación de una planilla evaluativa de las condiciones de las fuentes de iluminación del socavón minero.

PALABRAS CLAVES: MINERIA SUBTERRANEA, ILUMINACION, PREVENCION Y CONTROL

PÁGINAS: _169_ PLANOS: _0_ ILUSTRACIONES: _72_ CD ROOM: _No_

PREVENCIÓN Y CONTROL DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES LABORALES
GENERADAS POR CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DEFICIENTE EN MINERÍA
SUBTERRÁNEA

RICKY MANUEL JEREZ MALDONADO

MIGUEL ANGEL MONTERO LAGUADO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS
CÚCUTA
2021

PREVENCIÓN Y CONTROL DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES LABORALES
GENERADAS POR CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DEFICIENTE EN MINERÍA
SUBTERRÁNEA

RICKY MANUEL JEREZ MALDONADO

MIGUEL ANGEL MONTERO LAGUADO

DIRECTOR:

RAIMUNDO ALONSO PEREZ GOMEZ
Ing. de Minas, Esp. Msc

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE MINAS
CÚCUTA
2021

ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Cúcuta, 26 de agosto de 2021 **HORA:** 4:00 p.m.

LUGAR: TICS MEET

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERIA DE MINAS

TITULO DE LA TESIS: "PREVENCIÓN Y CONTROL DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES LABORALES GENERADAS POR CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DEFICIENTE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA".

JURADOS: Ing. GERMAN MIGUEL MENDEZ GOMEZ **ENTIDAD:** U. F. P. S.
Ing. CARLOS ANDRÉS MARTINEZ SALCEDO **ENTIDAD:** U. F. P. S.
Ing. EFRÉN ALBERTO GONZÁLEZ GARCÍA **ENTIDAD:** U. F. P. S.

DIRECTOR: Ing. RAIMUNDO ALONSO PEREZ GOMEZ

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTE	CÓDIGO	NUMERO	CALIFICACIÓN	
			LETRA	(A) (M) (L)
RICKY MANUEL JEREZ MALDONADO	1181198	4.0	CUATRO, CERO	APROBADA
MIGUEL ANGEL MONTERO LAGUADO	1181053	4.0	CUATRO, CERO	APROBADA

OBSERVACIONES:

FIRMA DE LOS JURADOS:



GERMAN MIGUEL MENDEZ GOMEZ



CARLOS ANDRÉS MARTINEZ



EFRÉN ALBERTO GONZÁLEZ

Vº. Bº.



COORDINADOR COMITÉ CURRICULAR
JOSE LUIS GÓMEZ HERNÁNDEZ



GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA
LA CONSULTA, LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Cúcuta,

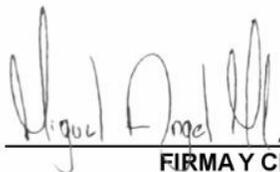
Señores
BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS
Ciudad

Cordial saludo:

RICKY MANUEL JEREZ MALDONADO y MIGUEL ANGEL MONTERO LAGUADO, identificados con las C.C. Nº 1.090.523.510 y 1.090.507.817 respectivamente autores de la Monografía como trabajo de grado titulado **PREVENCIÓN Y CONTROL DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES LABORALES GENERADAS POR CONDICIONES DE ILUMINACIÓN DEFICIENTE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA** presentada y aprobada en el año 2021 como requisito para optar al título de INGENIERO DE MINAS; autorizamos a la biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Eduardo Cote Lamus, para que con fines académicos, muestre a la comunidad en general a la producción intelectual de esta institución educativa, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en la página web de la Biblioteca Eduardo Cote Lamus y en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenios la Universidad Francisco de Paula Santander.
- Permita la consulta, reproducción y los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato ROM o digital desde Internet, Intranet etc.; y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

Lo anterior, de conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la ley 1982 y el artículo 11 de la decisión andina 351 de 1993, que establece que "los derechos morales del trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.


Miguel Ángel M. 1090507817
FIRMA Y CEDULA


Ricky Jerez M. 1090523510
FIRMA Y CEDULA

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	17
2. Pregunta Orientadora	18
3. Objetivo	18
4. Hipótesis	19
5. Justificación	19
6. Metodología	21
7. Iluminación	22
7.1. Luz	24
7.2. Percepción humana de la luz	25
7.3. Magnitudes luminotecnias	28
7.3.1. Flujo luminoso	29
7.3.2. Intensidad luminosa	30
7.3.3. Nivel de iluminación	31
7.3.4. Luminancia	37
7.3.5. Contraste	39
7.4. Propiedades ópticas	40
7.4.1. Reflexión	40
7.4.2. Refracción	41

7.4.3. Transmisión	42
7.4.4. Absorción	43
7.5. Tipos de Luz	44
7.5.1. Luz Natural	44
7.5.2. Luz Artificial	45
7.5.2.1. Características y Tipos de lámparas	46
7.6. Sistema de iluminación	53
7.6.1. Luminarias	54
7.6.1.1. Elementos de una Luminaria	55
7.6.2. Tipos de iluminación	63
7.6.2.1. Iluminación directa	63
7.6.2.2. Iluminación semi-directa	63
7.6.2.3. Iluminación indirecta	64
7.6.2.4. Iluminación semi-indirecta	64
7.6.2.5. Iluminación General Difusa	65
7.6.2.6. Iluminación Directa-Indirecta	65
7.6.3. Alumbrado	65
7.6.3.1. Alumbrado general	66
7.6.3.2. Alumbrado localizado	66

7.6.3.3. Alumbrado General Localizado	67
7.7. Iluminación en Minería Subterránea	68
7.7.1. Iluminación individual	71
7.7.2. Iluminación estacionaria	76
7.7.3. Iluminación Inteligente Para Minería Subterránea	97
7.8. Efectos nocivos a la salud por deficiencia de iluminación	103
7.9. Accidentes causados por iluminación deficiente	106
7.10. Legislación	113
7.10.1. Niveles de iluminación adecuados por labor o sitio de trabajo minero.	114
7.10.2. Certificación de elementos antiexplosión.	126
7.10.3. Disposición de iluminación fija o estacionaria.	129
7.10.4. Disposición de iluminación individual.	129
7.11. Factores determinantes de la Calidad de iluminación	130
7.11.1. Iluminancia y uniformidad	131
7.11.2. Control del deslumbramiento	131
7.11.3. Modelado y sombras	132
7.11.4. Propiedades de color	132
7.11.5. Ergonomía del puesto de trabajo	135
7.12. Ventajas de un sistema de iluminación eficiente	135

7.13. Medidas de prevención y control	138
7.13.1. Medidas de prevención y control en la fuente	138
7.13.2. Medidas de prevención y control en el medio	139
7.13.3. Medidas de prevención y control en el trabajador	141
8. Planilla de evaluación recomendada para lámparas de los sistemas de iluminación mineros subterráneos.	142
8.1. Descripción del funcionamiento del sistema de iluminación de acuerdo a la calificación de la planilla de evaluación.	143
8.2. Medidas de corrección recomendadas de acuerdo a la valoración crítica de las lámparas del sistema de iluminación	147
Conclusiones	151
Recomendaciones	154
Anexos	157
Referencias	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un fotómetro	23
Figura 2. Importancia de la iluminación	24
Figura 3. Componentes del ojo humano	26
Figura 4. El espectro electromagnético	27
Figura 5. Sensibilidad del ojo humano	28
Figura 6. Representación del flujo luminoso	29
Figura 7. Ángulo sólido	30
Figura 8. Representación gráfica de la unidad de iluminación	31
Figura 9. Fórmula para hallar el URG	33
Figura 10. Representación gráfica de la luminancia	38
Figura 11. Diferencia en la luminancia entre dos elementos	38
Figura 12. Contrastes de color más efectivos	39
Figura 13. Rayo que incide en forma oblicua sobre una interface de aire-vidrio	41
Figura 14. Transmisión Dirigida.	42
Figura 15. Transmisión Difusa.	43
Figura 16. Propiedades Ópticas de los Cuerpos	44
Figura 17. Modelos de lámparas de vapor de sodio alta presión	47
Figura 18. Partes de la lámpara de halogenuros metálicos	48
Figura 19. Partes de la lámpara de vapor de mercurio	49
Figura 20. Partes de la lámpara fluorescente y funcionamiento	50
Figura 21. Lámpara de inducción	51

Figura 22. Bombilla LED	53
Figura 23. Reflector Circular	56
Figura 24. Cobertura del Reflector Circular.	56
Figura 25. Reflector Parabólico	57
Figura 26. Reflector Elíptico	57
Figura 27. Luminaria con lente condensadora y reflector elipsoidal	58
Figura 28. Partes de una luminaria	59
Figura 29. Reflector que proporciona apantallamiento de la lámpara. a) dado por el contorno de la lámpara, b) utilizando un elemento en forma de V.	60
Figura 30. Clasificación según el porcentaje de flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara.	62
Figura 31. Alumbrado General	66
Figura 32. Alumbrado Localizado	67
Figura 33. Alumbrado General Localizado	68
Figura 34. Iluminación en labores mineras subterráneas	70
Figura 35. Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion Proof	72
Figura 36. LÁMPARAS (DE HALÓGENO) SERIE G en combinación con el foco reflector	74
Figura 37. Rendimiento de la bombilla	76
Figura 38. Flujo Luminoso de Diferentes Luminarias	80
Figura 39. Comparación aprovechamiento de lúmenes	81
Figura 40. Luminaria Watex	82
Figura 41. Led Atex Tureis Z2	82
Figura 42. Kit de cinta led iluminatronics de 10m	83

Figura 43. Unión de carretes de cinta led para instalar en un túnel	84
Figura 44. Instalación cinta led interconectable en un túnel	85
Figura 45. Resistencia a la compresión de la cinta led	86
Figura 46. Sistema de iluminación con cintas led	87
Figura 47. Especificaciones técnicas de Cintas LED	88
Figura 48. Nivel de iluminación emitido.	89
Figura 49. Iluminación deficiente de un túnel con lámparas estacionarias	89
Figura 50. Iluminación eficiente de un túnel con cinta Led	90
Figura 51. Iluminación con cinta Led de un túnel minero de doble sentido	90
Figura 52. Cable con aislamiento de PVC, armado con flejes bajo cubierta también de PVC, tipo SINTENAX F para baja tensión	91
Figura 53. Cable semiflexible con aislamiento de goma, armado con hilos bajo cubierta de neopreno para servicios de minería, baja tensión	92
Figura 54. Cable flexible Acometida 3x8+8 trifásico certificado	92
Figura 55. Componentes de un cable eléctrico blindado	93
Figura 56. Principio de funcionamiento de un transformador monofásico	96
Figura 57. Tablero de mando a prueba de explosion serie XO	97
Figura 58. Consumo Energético BECO 2015	98
Figura 59. Participación de los usos de la energía eléctrica en la industria	99
Figura 60. PYROS LED lighting	100
Figura 61. Conexión del sistema de iluminación DALI	101
Figura 62. Sensores y detectores	102
Figura 63. Dispositivo Móvil	102

Figura 64. Causas de las emergencias mineras ocurridas en Colombia durante el Año 2020	107
Figura 65. Estadísticas de accidentabilidad industria extractiva minera en Chile Año 2020	107
Figura 66. Emergencias y mortalidades mineras ocurridas en Colombia entre los Años 2005-2019	108
Figura 67. Causas de las emergencias mineras ocurridas en Colombia durante los años 2005-2019	109
Figura 68. Causas de Las Fatalidades Mineras Ocurridas en Colombia Durante los años 2005-2019	109
Figura 69. Estadísticas de accidentabilidad minera en Chile en el Periodo 2000 - 2017	110
Figura 70. Tipología de accidentes fatales en Chile en el periodo 2000 - 2017	110
Figura 71. Adecuada iluminación de un frente de trabajo en minería subterránea	111
Figura 72. Representación Gráfica de una Posible evaluación de lámparas estacionarias	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Magnitudes y unidades luminotécnicas	28
Tabla 2. Ejemplos de niveles de iluminancia	32
Tabla 3. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades	34
Tabla 4. Distribución del flujo luminoso	61
Tabla 5. Características de la Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion Proof	72
Tabla 6. Características de luminosidad Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion	73
Tabla 7. Comparación de las fuentes de luz en minería subterránea	77
Tabla 8. Cables para industria Minera de la empresa Centelsa	94
Tabla 9. Efectos fisiológicos de las radiaciones ópticas	105
Tabla 10. Normas Colombianas (Iluminación)	115
Tabla 11. Normas Mexicanas (Iluminación).	117
Tabla 12. Normas Peruanas (Iluminación)	119
Tabla 13. Normas Españolas (Iluminación)	120
Tabla 14. Normas Argentinas (Iluminación)	122
Tabla 15. Normas Chilenas (Iluminación)	123
Tabla 16. Resumen de los niveles de iluminación internacionales	125
Tabla 17. Zonas Atex	127
Tabla 18. Parámetros Recomendados Para La Selección De Lámparas Según Criterio De Color	133
Tabla 19. Temperatura desprendida de acuerdo al tono de color	134
Tabla 20. Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Estacionarias	144
Tabla 21. Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Individuales	144

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Planilla de evaluación recomendada para lámparas de los sistemas de iluminación mineros subterráneos.	168
Anexo 2. Niveles de Iluminación Recomendados Para Labores Mineras Subterráneas.	170

1. Introducción

La presente revisión monográfica se enfoca en la recopilación de información relacionada con aspectos pertinentes a los sistemas de iluminación en minería subterránea que incluye un marco teórico y análisis evaluativos de las principales problemáticas asociadas a este factor de riesgo físico; igualmente, las posibles medidas desarrolladas e implementadas en el ámbito local, regional y mundial para el control y prevención del mismo, adecuándolas a las labores mineras subterráneas, teniendo en cuenta los niveles de intensidad lumínica, la disposición y uso de las luminarias que se requiere para garantizar condiciones adecuadas para el laboreo minero y que estén dentro del marco normativo del sector del trabajo colombiano y de sus lineamientos dados en el Decreto 1072 del 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.

Igualmente se aporta en el proceso de valoración y vigilancia de las condiciones de los elementos utilizados para el alumbrado individual de los trabajadores y el alumbrado estacionario de labores e instalaciones mineras subterráneas, mediante el diseño de una plantilla de evaluación y recomendaciones, dependiendo del resultado obtenido en la valoración que se realice, de tal forma que permite identificar las condiciones que puedan generar riesgo para la integridad física y la salud de los trabajadores y, de esta forma, poder plantear las medidas de prevención y control que sean pertinentes.

En el desarrollo de la monografía se tuvieron en cuenta los criterios y análisis de antecedentes sobre el tema, se tomó como base teórica la normativa pertinente en diferentes países con alto nivel en minería subterránea, estudios, guías técnicas, monografías, entre otros

documentos útiles para la recopilación de la información y datos que ayudaron al enriquecimiento informativo y comprensión de la temática, de tal forma que el documento final servirá de apoyo y complemento a la normatividad Colombiana establecida en el Decreto 1886 de 2015, Título X, Capítulo I, Alumbrado e Iluminación, e igualmente aportará al mejoramiento de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en minería subterránea, y a la vez servirá como ayuda en la formación de los estudiantes de Ingeniería y Tecnología de Minas y como guía para los empresarios e instituciones mineras en este tema.

2. Pregunta Orientadora

¿Cuál es la influencia de un adecuado sistema de iluminación en minería subterránea sobre los índices de seguridad y salud en el trabajo?

3. Objetivo

Consolidar información sobre los efectos en la seguridad y salud de los trabajadores expuestos a condiciones de iluminación deficiente, para justificar las medidas preventivas y de control que se deben implementar en la minería subterránea (, y con el fin de disminuir los riesgos derivados de la exposición a dicho factor de riesgo físico.)

4. Hipótesis

La implementación de un adecuado sistema de iluminación en minería subterránea incide en el mejoramiento de los índices de seguridad y salud en el trabajo, disminuyendo los accidentes y enfermedades laborales generadas por condiciones de iluminación deficiente.

5. Justificación

En las labores mineras subterráneas son desarrolladas un gran número de actividades para la extracción de minerales o materiales de interés económico, las cuales deben ejecutarse en un ambiente de trabajo adecuado para garantizar la integridad física y la salud de los trabajadores y permitir un trabajo seguro, pero debido a la naturaleza de este tipo de minería estas labores deben ser realizadas en ausencia de luz natural, lo cual genera un factor de riesgo por la escasa o nula visibilidad en los frentes de trabajo, además de favorecer la generación de enfermedades laborales por el desgaste visual, por lo que se hace necesario la implementación de sistemas de iluminación de tipo estacionaria y personal que cumplan con todos los requerimientos y estándares de seguridad, junto con los lineamientos dados por el sector trabajo y de su normatividad establecida principalmente en el Decreto 1072 por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo, que garanticen la prevención y control de las enfermedades y accidentes laborales generados por dicho factor de riesgo físico.

Es así como surge la necesidad de contar con la información necesaria que proporcione los lineamientos técnicos para el diseño e implementación de un adecuado sistema de iluminación y de las medidas de prevención y control necesarias; esto debido a la escasa

información sobre el tema incluida en la normatividad colombiana, específicamente en el Decreto 1886 de 2015, Título X, Capítulo I, Alumbrado e Iluminación, en la cual los estándares o lineamientos normativos impartidos no son suficientes ante la complejidad que implica tener un sistema de iluminación enfocado en la disminución y eliminación de los efectos nocivos en los trabajadores que puedan ser ocasionados por este factor de riesgo físico, por lo cual este escrito tomará como base; estadísticas nacionales e internacionales sobre las afectaciones de este factor de riesgo a la salud y seguridad de los trabajadores para demostrar su importancia de estudio y por otro lado la normatividad de algunos países con tradición y experiencia en minería subterránea, específicamente en lo que concierne a la iluminación subterránea, adoptando algunos estándares y lineamientos técnicos y de seguridad para la realización de trabajos en condiciones similares, adaptándose con criterios lógicos a este tipo de minería en nuestro medio, dando como resultado nuevas medidas de prevención y control además de permitir la generación de una planilla de evaluación, por parte de los autores de este escrito, para verificar las condiciones de funcionamiento de los sistemas de iluminación.

De acuerdo con lo anterior, este monográfico servirá de base para la realización de posteriores investigaciones, las cuales tendrán como objetivo garantizar frentes de trabajo adecuados y seguros para los trabajadores, desde el punto de vista de la iluminación, de tal forma que puedan desarrollar con eficiencia y calidad sus actividades para obtener mejores desempeños y rendimientos y, por ende, un mayor beneficio económico, al disminuir los índices de accidentalidad y contratiempos derivados de este factor de riesgo físico, beneficiando de esta forma a los empresarios mineros en la rentabilidad de las operaciones y a estudiantes de

Ingeniería y Tecnología de Minas en el aporte de conocimientos para su formación profesional en temas de seguridad y salud en trabajo.

6. Metodología

La metodología empleada es de tipo documental y descriptiva.

Los criterios de selección documental están enfocados en fuentes de información sustentables como artículos de investigación, estudios médicos, libros, revistas y publicaciones de carácter científico, normativas nacionales e internacionales, orientados a la temática de iluminación y sus posibles efectos que alteren la integridad y seguridad de las personas; los criterios de análisis de la información están fundamentados en la interpretación personal de los autores del documento monográfico con apoyo del documento “Lectura Crítica” (Paul & Elder, 26 de enero 2016), por lo que toda información generalizada del tema es adecuada a ambientes mineros subterráneos.

- Mine Safety and Health Administration (MSHA).
- Capítulo XII Iluminación; Decreto Supremo N023-2017-EM, Reglamento de Seguridad e Higiene Minera de Perú.
- Evaluaciones ocupacionales - Niveles de Iluminación; POSITIVA Compañía de Seguros.
- Iluminación en el puesto de trabajo; Ministerio de Empleo y Seguridad Social, Gobierno de España.

- Underground Coal Mine Lighting Handbook Part 1 & 2; Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- Título X, Capítulo I Alumbrado e Iluminación; Decreto de Seguridad en labores mineras subterráneas (Decreto 1886, 2015 Colombia).
- Artículos científicos de tipo investigativo, a través de bases de datos como ACM, Web Of Science, Science Direct.

7. Iluminación

El ser humano para realizar sus labores o actividades requiere principalmente del uso de sus sentidos, de los cuales la visión se destaca como la de mayor importancia y predominio a la hora de desarrollarlas, por lo que permite conocer el medio que rodea al individuo, otorgándole la capacidad de desenvolverse en este a través de la identificación de señales, objetos y el efecto de su propia interacción con el medio, lo que hace necesario que existan condiciones adecuadas para el aprovechamiento óptimo de este sentido a la hora de la ejecución de dichas actividades.

La iluminación nos indica la cantidad de luz que recibe un determinado lugar. Se puede medir en lux o bujía-pie y el instrumento utilizado para medir el nivel de iluminación es el fotómetro. Ver Figura 1.



Figura 1. *Partes de un fotómetro*

Fuente: Tomado de J. D., s.f.

En la Figura 2 se ilustra la importancia de la iluminación en la seguridad, comodidad, productividad y calidad en las diferentes tareas o trabajos realizados por una persona o un trabajador en cualquier actividad cotidiana o laboral, operativa o administrativa, que sea de fácil o difícil visualización, y que se deba ejecutar en diferentes ámbitos y tipos de empresas.

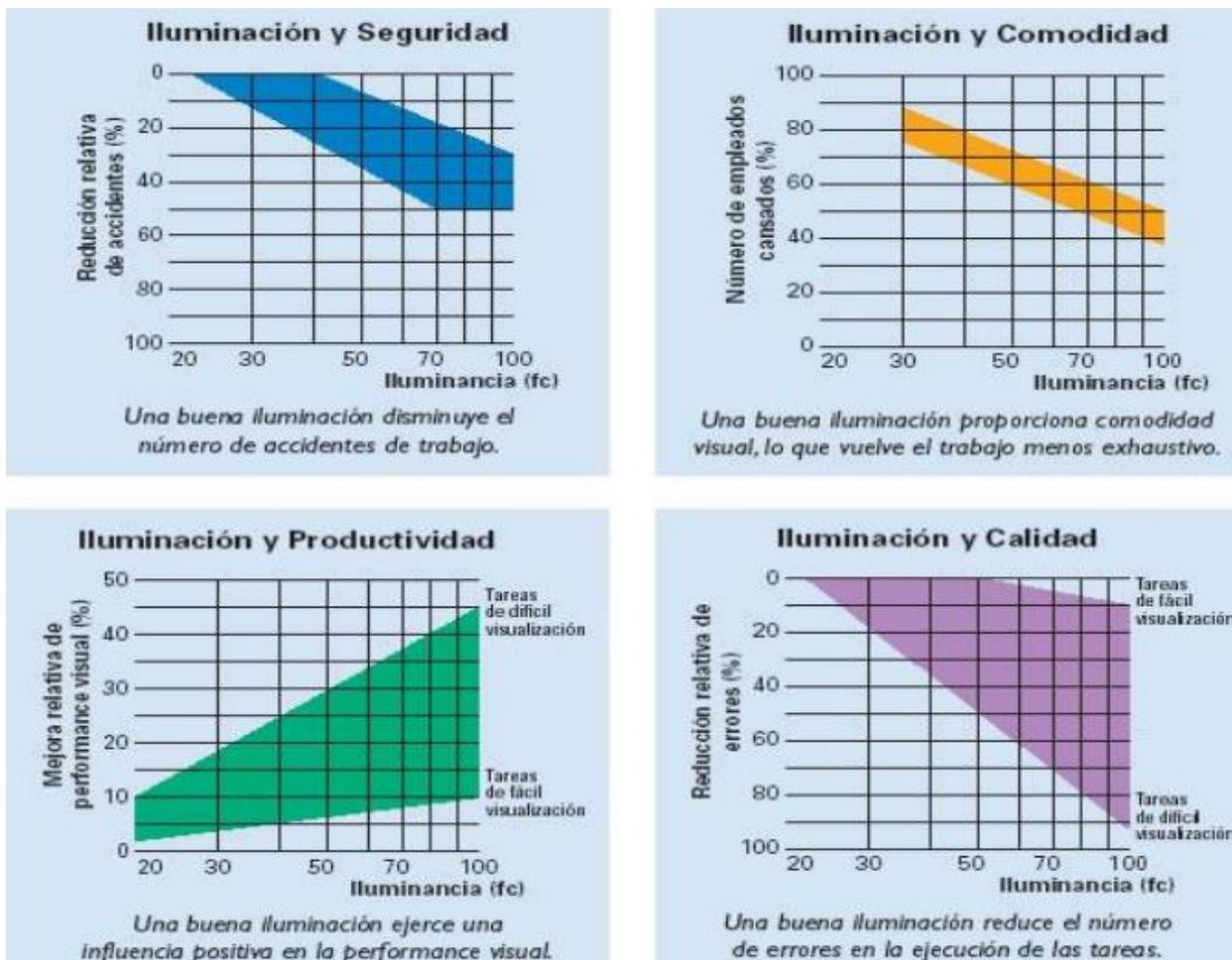


Figura 2. *Importancia de la iluminación*

Nota. Estudio de la importancia de la iluminancia con diferentes factores relacionados con el trabajo. Fuente: Tomado de J. D., s.f.

7.1. Luz

Es una clase de energía electromagnética que se desplaza en forma de onda, la cual puede provocar una interacción con el ojo humano haciendo que este pueda generar la percepción de colores y sombras o en términos más exactos “Es una forma particular y concreta de energía que

se desplaza o propaga, no a través de un conductor (como la energía eléctrica o mecánica) sino por medio de radiaciones, es decir, de perturbaciones periódicas del estado electromagnético del espacio”. (Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de Argentina, 2016)

7.2. Percepción humana de la luz

El ser humano realiza todas sus acciones en base a la información recibida a través de sus cinco sentidos, especialmente el de la visión, la cual se basa principalmente en la percepción de luz, definida como

“La percepción de la luz por los humanos se realiza a través del ojo, órgano que capta información que debe transmitir al cerebro por medio del nervio óptico, este órgano no es capaz de percibir todas las longitudes de onda y las que percibe no con la misma intensidad”. (Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid, 2015)

“El ojo humano captura imágenes en una superficie sensible a la luz, recibe energía radiante o luminosa y la convierte en señales eléctricas que luego son procesadas por el cerebro creando la sensación de visión”. (Gutiérrez, s.f, p.4).

Las partes que componen el ojo humano se ilustran en la Figura 3 y consisten en componentes ópticos (párpado, córnea, iris, pupila y cristalino) y componentes neurológicos que convierten la radiación luminosa en impulsos eléctricos (retina, constituida por conos y bastoncillos).

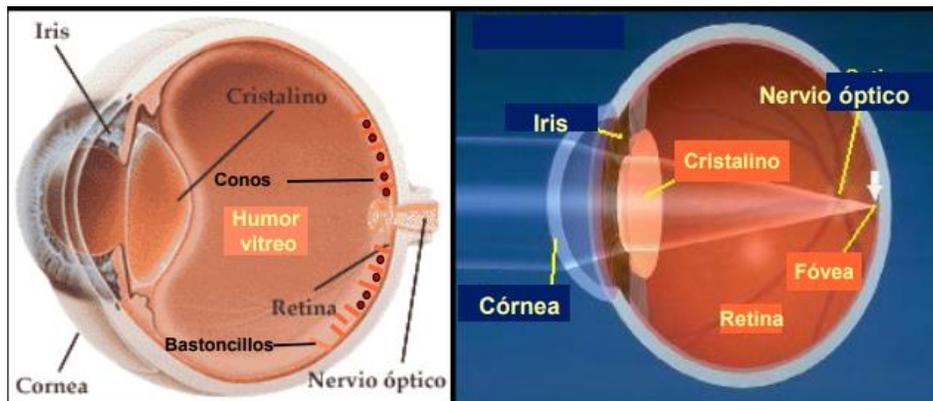


Figura 3. *Componentes del ojo humano*

Fuente: Tomado de J. D., s.f.

La sensibilidad del ojo humano es capaz de captar intensidades de entre los 750nm y 380nm, rango en el cual pueden ser percibidos los colores como se puede observar en la Figura 4, donde las longitudes de onda superiores al valor máximo percibido son los infrarrojos y caso contrario se encuentra los espectros de onda ultravioleta.

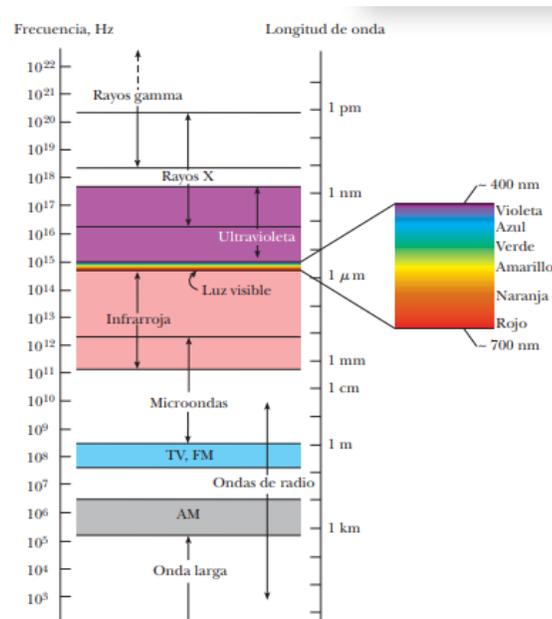


Figura 4. El espectro electromagnético

Fuente: Tomado de Serway & Jewett, 2008.

La máxima percepción del color está definida en una longitud de onda de 555nm como se ilustra en la Figura 5, donde se observa una disminución de la sensibilidad a medida que se alejan de este valor.

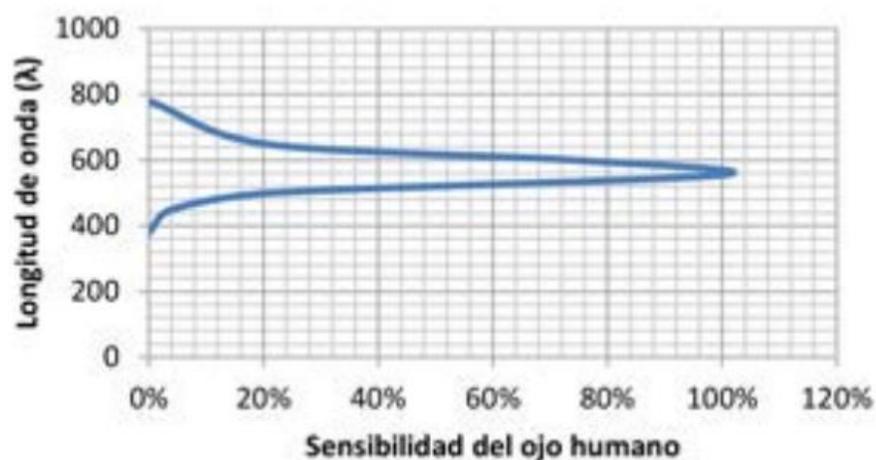


Figura 5. *Sensibilidad del ojo humano*

Nota. La mayor sensibilidad del ojo humano se encuentra en un valor cercano a los 580. Fuente: Tomado de Consejería de Economía y Hacienda Comunidad de Madrid, 2015.

7.3. Magnitudes luminotécnicas

Las principales magnitudes y unidades luminotécnicas pertinentes para realizar estudios orientados al acondicionamiento de puestos de trabajo se registran en la Tabla 1

Tabla 1. *Magnitudes y unidades luminotécnicas*

Magnitud	Unidad	Símbolo
Flujo luminoso	Lumen	Φ
Intensidad luminosa	Candela	I
Nivel de iluminación	Lux	E
Luminancia	Candela/m ²	L

Fuente: Tomado del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2015.

A continuación, se definen cada una de esas magnitudes.

7.3.1. Flujo luminoso

Es la energía irradiada que puede ser captada por el rango de espectro visible la cual es emitida en forma de luz por una fuente productora definida como “La velocidad de emisión de la luz o como la energía radiante que afecta a la sensibilidad del ojo en la unidad de tiempo (F). Su unidad de medida es el Lumen” (Cortés, 2012, pag. 473) esta fuente puede llegar a ser una luminaria como un simple bombillo o inclusive la misma energía emitida por el sol en forma de luz, como se puede observar en la Figura 4 una bombilla genera un flujo luminoso en todas direcciones, en cual la zona gris representa una de las tantas que se propagan, integrando otras magnitudes luminosas como lo es la intensidad junto con su ángulo sólido.

Esta, como se observa en la Figura 6, es generada por una bombilla que emite el flujo con una intensidad I

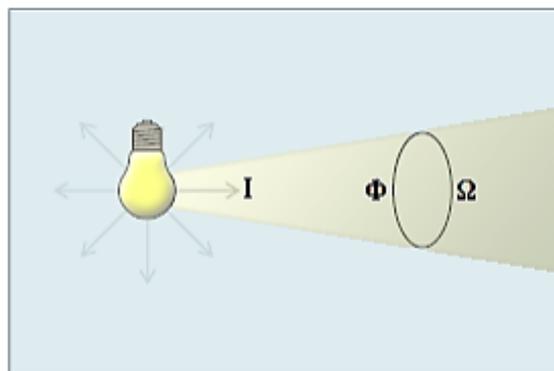


Figura 6. Representación del flujo luminoso

Fuente: Tomado de Cornejo, C., Escobar, G., & Ramirez, C., 2015.

7.3.2. Intensidad luminosa

Una Fuente puede emitir un flujo luminoso determinado en todas las direcciones con una variación de uniformidad dependiente del ángulo sólido, la emisión resulta en una distribución tridimensional, determinada como intensidad luminosa la cual definida en términos más exactos según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (2015) es el flujo luminoso por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta, en donde su símbolo es I y la unidad en el sistema internacional es la candela (Cd)

La luz generalmente es proyectada formando secciones piramidales o cónicas con algunas variaciones de superficie tridimensional dependiendo del cuerpo o fuente productora hacia el medio en la que se emita como se ilustra en la Figura 7.

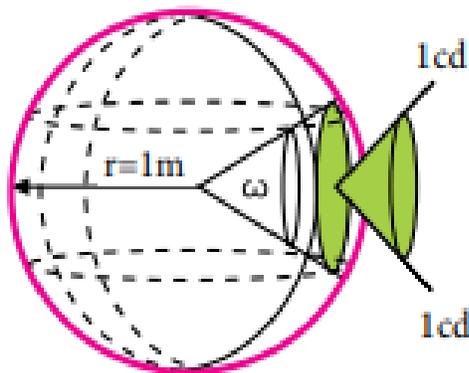


Figura 7. Ángulo sólido

Fuente: Tomado del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 2015.

7.3.3. Nivel de iluminación

El nivel de iluminación o iluminancia en términos exactos “Es una magnitud característica del objeto iluminado, ya que indica la cantidad de luz que incide sobre una unidad de superficie del objeto, cuando es iluminado por una fuente de luz.” (Instituto de Seguridad E Higiene de España, 1988, pag. 4).

Su unidad es el Lux, el cual es la relación entre el flujo luminoso que se proyecta en una extensión de área, como se puede evidenciar en la Figura 8. (Lux = Lumen /m²).

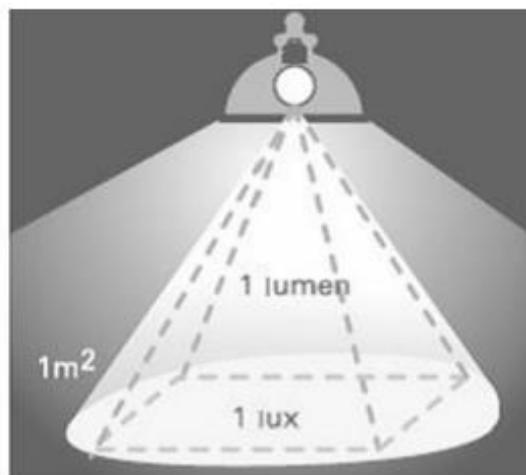


Figura 8. Representación gráfica de la unidad de iluminación

Fuente: Tomado de Cornejo et al., 2015.

En la Tabla 2 se registran algunos ejemplos de diferentes niveles de iluminancia en la vida cotidiana del ser humano.

Tabla 2. Ejemplos de niveles de iluminancia

Iluminancia	Abr.	Ejemplo
0,00005 lux	50 μlx	Luz de una estrella (Vista desde la tierra)
0,0001 lux	100 μlx	Cielo nocturno nublado, luna nueva
0,001 lux	1 mlx	Cielo nocturno despejado, luna nueva
0,01 lux	10 mlx	Cielo nocturno despejado, cuarto creciente o menguante
0,25 lux	250 mlx	Luna llena en una noche despejada¹
1 lux	1 lx	Luna llena a gran altitud en latitudes tropicales²
3 lux	3 lx	Límite oscuro del crepúsculo bajo un cielo despejado³
50 lux	50 lx	Sala de una vivienda familiar⁴
80 lux	80 lx	Pasillo/cuarto de baño⁵
400 lux	4 hlx	Oficina bien iluminada
400 lux	4 hlx	Salida o puesta de sol en un día despejado.
1000 lux	1 klx	Iluminación habitual en un estudio de televisión
32.000 lux	32 klx	Luz solar en un día medio (mín.)
100.000 lux	100 klx	Luz solar en un día medio (máx.)

Nota. Los fenómenos naturales más comunes pueden emitir un nivel de iluminación muy alto o relativamente bajo, los cuales permiten tener una buena o mala visibilidad para desarrollar actividades. Fuente: Tomado de J. D., s.f.

En la Tabla 3 se relacionan niveles de iluminancia y deslumbramiento en diferentes tipos de recinto y actividad, en donde el grado de deslumbramiento directo psicológico (UGR) generado por las luminarias puede ser calculado mediante el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento unificado de la Comisión Internacional de la Iluminación (Reglamento

Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP (2010), el cual se basa en la verificación de la contribución que genere cada luminaria presente en el sistema de iluminación y que se realiza mediante la fórmula establecida en la figura 9.

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Figura 9. *Fórmula para hallar el UGR*

Nota. El deslumbramiento es un nivel de iluminación alto que se proyecta hacia el ojo humano.

Fuente: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP, 2010.

En donde:

L_b es la iluminancia de fondo en cd/m^2 , calculada como $E_{ind} \times \pi^{-1}$, en la que E_{ind} es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador;

L es la iluminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador en cd/m^2 ;

ω es el ángulo sólido (estereorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador;

p es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual que se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Tabla 3. Índice UGR máximo y Niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.	25	100	150	200
Talleres de ensamble				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1000	1500	2000

Procesos químicos				
Procesos automáticos	--	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	200
Áreas generales en el interior de las fábricas	25	200	300	500
Cuartos de control, laboratorios.	19	300	500	750
Industria farmacéutica	22	300	500	750
Inspección	19	500	750	1000
Balanceo de colores	16	750	1000	1500
Fabricación de llantas de caucho	22	300	500	750
Fábricas de confecciones				
Costura	22	500	750	1000
Inspección	16	750	1000	1500
Prensado	22	300	500	750
Industria eléctrica				
Fabricación de cables	25	200	300	500
Ensamble de aparatos telefónicos	19	300	500	750
Ensamble de devanados	19	500	750	1000
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV	19	750	1000	1500
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	16	1000	1500	2000
Industria alimenticia				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300
Decoración manual, inspección	16	300	500	750
Fundición				
Pozos de fundición	25	150	200	300
Moldeado basto, elaboración basta de machos	25	200	300	500
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección	22	300	500	750
Trabajo en vidrio y cerámica				
Zona de hornos	25	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	25	200	300	500
Terminado, esmaltado, envidriado	19	300	500	750
Pintura y decoración	16	500	750	1000
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	19	750	1000	1500
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750
Industria del cuero				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Prensado, corte, costura y producción de calzado	22	500	750	1000
Clasificación, adaptación y control de calidad	19	750	1000	1500
Taller de mecánica y de ajuste				
Trabajo ocasional	25	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	22	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	22	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco, máquinas automáticas finas, inspección y ensayos	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, calibración e inspección de partes pequeñas muy complejas	9	1000	1500	2000
Talleres de pintura y casetas de rociado				
Inmersión, rociado basto	25	200	300	500
Pintura ordinaria, rociado y terminado	22	300	500	750
Pintura fina, rociado y terminado	19	500	750	1000
Retoque y balanceo de colores	16	750	1000	1500
Fábricas de papel				
Elaboración de papel y cartón	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300
Inspección y clasificación	22	300	500	750

Trabajos de impresión y encuadernación de libros				
Recintos con máquinas de impresión	19	300	500	750
Cuartos de composición y lecturas de prueba	19	500	750	1000
Pruebas de precisión, retoque y grabado	16	750	1000	1500
Reproducción del color e impresión	19	1000	1500	2000
Grabado con acero y cobre	16	1500	2000	3000
Encuadernación	22	300	500	750
Decoración y estampado	19	500	750	1000
Industria textil				
Rompimiento de la paca, cardado, hilado	25	200	300	500
Giro, embobinado, enrollamiento peinado, tintura	22	300	500	750
Balanceo, rotación (conteos finos) entretejido, tejido	22	500	750	1000
Costura, desmonte o inspección	19	750	1000	1500
Talleres de madera y fábricas de muebles				
Aserraderos	25	150	200	300
Trabajo en banco y montaje	25	200	300	500
Maquinado de madera	19	300	500	750
Terminado e inspección final	19	500	750	1000
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1000
Salas de conferencia	19	300	500	750
Centros de atención médica				
<i>Salas</i>				
Iluminación general	22	50	100	150
Examen	19	200	300	500
Lectura	16	150	200	300
Circulación nocturna	22	3	5	10
<i>Salas de examen</i>				
Iluminación general	19	300	500	750
Inspección local	19	750	1000	1500
<i>Terapia intensiva</i>				
Cabecera de la cama	19	30	50	100
Observación	19	200	300	500
Estación de enfermería	19	200	300	500
<i>Salas de operación</i>				
Iluminación general	19	500	750	1000
Iluminación local	19	10000	30000	100000
<i>Salas de autopsia</i>				
Iluminación general	19	500	750	1000
Iluminación local	--	5000	10000	15000
<i>Consultorios</i>				
Iluminación general	19	300	500	750
Iluminación local	19	500	750	1000
<i>Farmacia y laboratorios</i>				
Iluminación general	19	300	400	750
Iluminación local	19	500	750	1000
Almacenes				
<i>Iluminación general:</i>				
En grandes centros comerciales	19	500	750	1000
Ubicados en cualquier parte	22	300	500	750
Supermercados	19	500	750	1000
Colegios y centros educativos.				
<i>Salones de clase</i>				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1000
<i>Salas de conferencias</i>				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1000
Bancos de demostración	19	500	750	1000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

Fuente: Tomado del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público- RETILAP,2010.

7.3.4. Luminancia

La luminancia se representa gráficamente en la Figura 10 y es la propiedad de un área iluminada en una dirección determinada, la cual da la sensación de claridad en la visión, pero definida técnicamente es, “la relación entre la intensidad luminosa en la dirección dada producida por un elemento de la superficie que rodea el punto, con el área de la proyección ortogonal del elemento de superficie sobre un plano perpendicular en la dirección dada” (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2009, pag.20)

“La luminancia o brillo es la magnitud que sirve para expresar el brillo de las fuentes de luz de los objetos iluminados y es la que determina la sensación visual producida por dichos objetos. Esta magnitud es de gran importancia para determinar el grado de deslumbramiento; es la intensidad luminosa por unidad de superficie aparente de una fuente de luz primaria (que produce luz) o secundaria (que refleja la luz).se puede expresar en Candelas/m²” (IMF Business School, s.f., p.1)

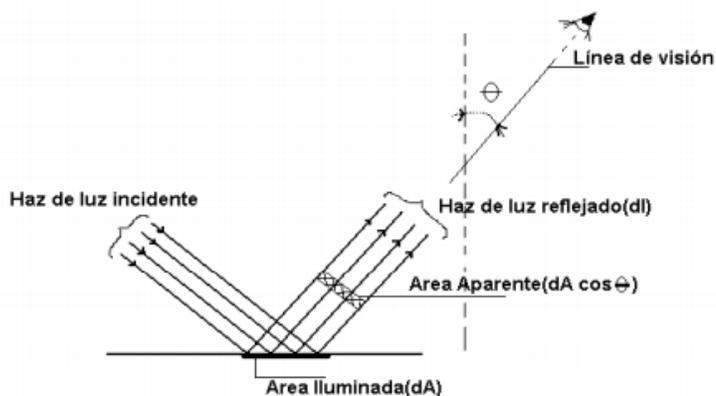


Figura 10. Representación gráfica de la luminancia

Fuente: Tomado de Gutiérrez, s.f.

Al contrario de la intensidad luminosa, la luminancia toma en cuenta la superficie a la cual se proyecta la energía, mientras que la intensidad se basa en el ángulo sólido a en la que se despide, como se ve en la Figura 11, donde el libro y la mesa están bajo el mismo nivel de iluminación, pero el libro presenta una mayor claridad porque éste posee mayor luminancia que la mesa.

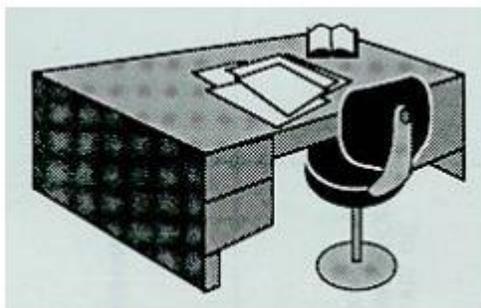


Figura 11. Diferencia en la luminancia entre dos elementos

Nota. El color de objeto incide en la luminancia. Fuente: Tomado del Instituto de Seguridad E Higiene de España, 1988.

7.3.5. *Contraste*

En términos coloquiales el contraste es la diferencia en la intensidad que divide la gama de negra-blanca y de colores, pero en el campo de la iluminación y alumbrado se define como “la relación entre la luminancia de un objeto y de su color de fondo igual a $(L_o - L_f) / L_f$, ó $\Delta L / L_f$, donde L_f y L_o son las luminancias del fondo y el objeto, respectivamente” (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2009), el cual es apreciable en la Figura 12 en donde se representan cuáles son los contrastes más efectivos.

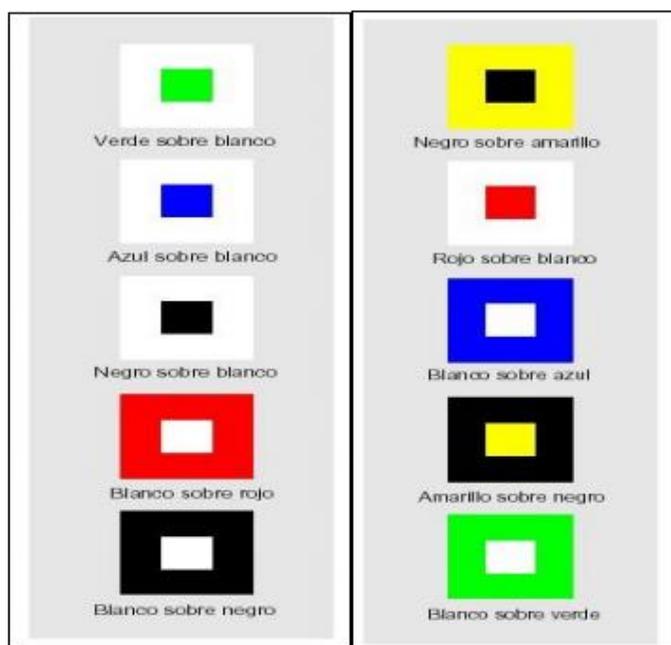


Figura 12. *Contrastes de color más efectivos*

Nota. Los contrastes permiten una mayor satisfacción visual a la hora de desarrollar un trabajo.

Fuente: Tomado de Soto & Paz, 2006.

7.4. Propiedades ópticas

7.4.1. Reflexión

Cuando las ondas de luz chocan contra una superficie estas son rechazadas y proyectadas nuevamente de manera que se moverán alejándose de la misma, la cantidad de luz que pueda llegar a reflejarse y la dirección a la cual será proyectada es dependiente de las características de la superficie, con respecto a esto (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2015) especifica lo siguiente:

En superficies pulidas o brillantes, como puede ser un espejo, esta reflexión va a ser regular mientras que en superficies mates la reflexión va a ser difusa. Se puede considerar otro tipo de reflexión de la luz mixta, donde parte del haz de luz sigue una reflexión regular y otra parte sigue una reflexión difusa. (p.15).

Con respecto a estas mismas características son realizados planes de iluminación, con un enfoque en los niveles de reflectancia que puedan asegurar condiciones favorables para el desarrollo de actividades, en base a esto (Castro & Posligua, 2015) señalan la importancia de una reflexión del 75% en techos con un acabado blanco, para lograr reflejar la luz de manera difusa, disipar la oscuridad y conseguir un ahorro en iluminación artificial, del mismo modo las paredes deben tener un porcentaje entre el 50 y 75% evitando deslumbramientos ya que alcanzan el nivel de los ojos, los pisos para evitar brillos deben de contar con un factor de reflexión del 20-25% y

finalmente para los equipos o superficies de trabajo deberá ser de entre un 20 y un 40% con materiales o superficies no brillantes.

7.4.2. Refracción

La refracción es la modificación que se presenta en la dirección de una onda o rayo de luz al entrar en contacto y traspasar un cuerpo, según (Serway & Beichner (2002) cuando un rayo de luz atraviesa una superficie transparente y sobresale a otro medio transparente como lo puede llegar a hacer en el caso de un vidrio, una parte del rayo es reflejado y otra entra al medio, esta última parte que entra se dobla en la frontera de este por lo cual se refracta como se puede observar detalladamente en la Figura 13, también ha de tenerse en cuenta que “La refracción se origina en el cambio de velocidad que experimenta la onda y sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios con índices de refracción distintos” (Álvarez, 2010)

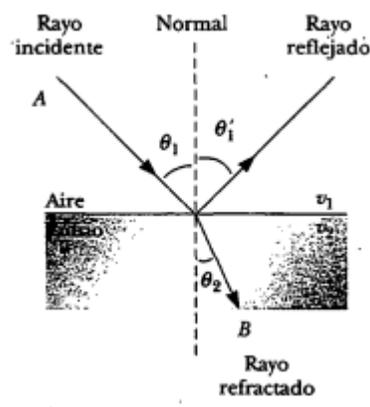


Figura 13. Rayo que incide en forma oblicua sobre una interface de aire-vidrio

Nota. El cambio de dirección del haz de luz varía según el material del elemento al cual se proyecte este flujo luminoso. Fuente: Tomado de Serway & Beichner, 2002.

7.4.3. Transmisión

En el momento que una onda de luz atraviesa un objeto transparente o translúcido se puede concluir que esta ha sido transmitida, pero en síntesis la transmisión es “la radiación que traspasa los cuerpos que son transparentes y la propaga” (Caminos, 2011), con respecto a esto (Castro & Posligua, 2015) explican que la transmisión de luz que incide en un cuerpo puede llegar a ser total o parcial dependiendo de las propiedades del mismo ya que al atravesarle pueden producirse pérdidas de luz debido a la reflexión y absorción propias del cuerpo en cuestión.

Esta onda de luz puede ser dirigida como se evidencia en la Figura 14 en la cual se genera una variación por consecuencia de la refracción normal o también puede llegar a ser difusa cuando la onda de luz se dispersa en todas las direcciones, como se ve en la Figura 15, ocurriendo cuando este entra en contacto con el objeto.

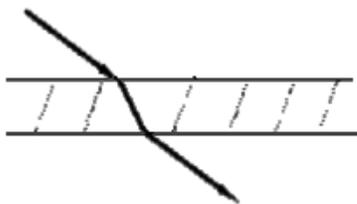


Figura 14. *Transmisión Dirigida.*

Fuente: Tomado de Caminos, 2011.

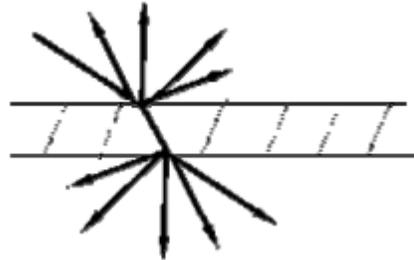


Figura 15. *Transmisión Difusa.*

Fuente: Tomado de Caminos, 2011.

7.4.4. Absorción

Es un fenómeno físico el cual se define como “El aumento de la energía interna de un cuerpo, se deriva de la absorción de la energía radiante” (Beltran & Rodriguez, 2019), como se puede observar en la Figura 16, en donde la propiedad de absorber esa energía es propia únicamente del objeto; de manera paralela (Sirlin, 2006) dice que la absorción presenta un coeficiente, el cual depende del material de cada objeto, variando para cada longitud de onda y concluyendo que este coeficiente tiene un valor muy bajo para materiales transparentes y que para materiales de gran opacidad tiene un valor gigantesco.

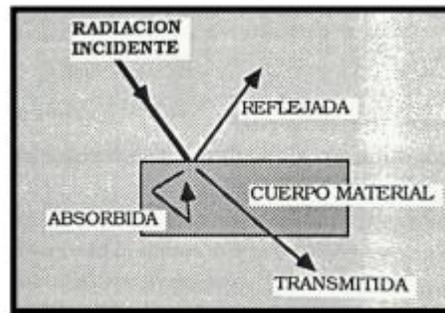


Figura 16. *Propiedades Ópticas de los Cuerpos*

Fuente: Tomado de Caminos, 2011.

7.5. Tipos de Luz

7.5.1. Luz Natural

Es generada por diversos fenómenos naturales, en donde la principal fuente de este tipo de iluminación en nuestro planeta se produce por las radiaciones de luz solar, además de que la luz natural es “una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, que proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias, con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente” (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2005) y que según Cortés (2007) genera unas mayores ventajas sobre los otros tipos de luz, permitiendo determinar perfectamente todos los colores, contando con valores superiores de 100.000 lux en las horas de máxima iluminación.

Es suministrada por la luz diurna y presenta indudables ventajas sobre la otra luz, permite definir perfectamente los colores, en horas de máxima iluminación pueden existir valores de iluminación superiores a 100.000 lux, es más económica y es la que produce menos fatiga visual

7.5.2. Luz Artificial

Cuando hablamos de luz artificial o luz producida por el hombre, generalmente nos referimos a la generada por la electricidad, la cual puede ser producida a voluntad según la necesidad de iluminación dada por el contexto del ambiente que le requiera, en relación a esto (Garrido & Trujillo, 2015) realizan la siguiente comparación:

A pesar que la iluminación natural representa beneficios en cuanto eficiencia energética, también es cierto que en algunos casos presenta dificultades ya que está directamente relacionado con las condiciones climáticas las cuales inciden en que dicha iluminación no siempre será constante provocando sombras; por esto se hace necesario recurrir a fenómenos físico-químicos que transformen otros tipos de energía en energía lumínica. (p. 16)

Dando a entender la necesidad que tiene el ser humano de contar con la luz artificial para cumplir con las exigencias de iluminación que se requieran en las diferentes actividades que este deba realizar, siendo de mayor beneficio y eficiencia debido al control que puede obtenerse sobre esta en las diferentes características modificables y adaptables al entorno a la cual se dispone su uso

7.5.2.1. Características y Tipos de lámparas

La lámpara según (La Real Academia Española, 2001) “Es un utensilio o aparato que, colgado o sostenido sobre un pie, sirve de soporte a una o varias luces artificiales” estas pueden ser de diferentes tipos, cada una con sus características y ventajas, siendo utilizadas conforme a las exigencias visuales del entorno, estas han sido desarrolladas a medida que la tecnología ha avanzado, haciendo que las últimas tengan una ventaja en cuanto a las características en relación al ahorro energético y a la eficacia de estas a la hora de ser empleadas en cualquier espacio determinado.

De acuerdo a lo mencionado las lámparas que han sido desarrolladas al paso de los años son las siguientes:

- Vapor de sodio: alta y baja presión

Las lámparas de vapor de sodio son utilizadas para iluminación exterior como lo puede a llegar a ser el alumbrado público en vías y carretables ya que como menciona García (2011) estas dentro de sus características favorables destaca la baja afeción medio ambiental que generan debido a su baja componente de radiación, que es inferior a los 440 nm, además (Caminos (2011) afirma que estas utilizan un elemento gaseoso para la transmisión de la electricidad para generar luz dentro de un espectro luminoso de colores amarillo-naranja; dentro de sus otras características también sobresalen la alta eficacia energética junto con un bajo rendimiento cromático el cual permite observar los colores de los objetos en un tono bajo en comparación al que se pueda emitir con luz natural, como podemos observar en la Figura 17 estas bombillas se caracterizan por ser comúnmente de dimensiones prolongadas.



Figura 17. Modelos de lámparas de vapor de sodio alta presión

Fuente: Tomado de PHILIPS, s.f.

- Halogenuros metálicos

Las lámparas de halogenuros metálicos son un tipo de lámpara que desprenden una tonalidad de luz blanca brillante de alta calidad, la cual es usada actualmente tanto en el campo industrial como en el del hogar, esto debido a sus pequeñas dimensiones y a su gran versatilidad con respecto a los sistemas de proyección, además de que estas lámparas están compuestas por halogenuros metálicos de cloro y de yodo, junto con mercurio que ahora actúa como regulador de la reacción, además de contener una mezcla de argón para el encendido; teniendo esto en cuenta, su funcionamiento se basa en alcanzar una temperatura inicial en donde los halogenuros metálicos se vaporizan, llegando a un punto en donde estos se dividen en halógenos e iones metálicos (O'Donnell et al (2002)); así mismo este autor también nos indica que la mayor ventaja que tiene este tipo de lámpara es que los halogenuros metálicos de los que está compuesta, reaccionan de una manera más eficiente a la temperatura de funcionamiento de la misma en comparación a los metales puros; En la figura 18 se pueden apreciar las partes que componen una lámpara de halogenuros metálicos.

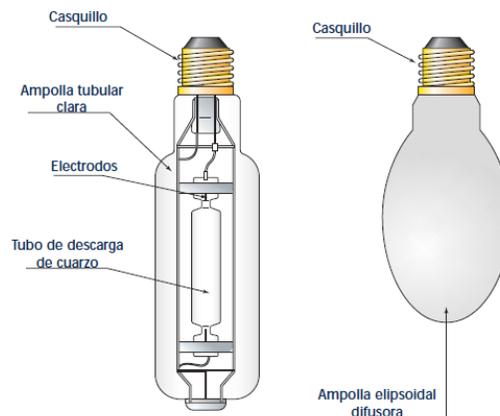


Figura 18. *Partes de la lámpara de halogenuros metálicos*

Fuente: Tomado de Manual de iluminación INDAL, s.f.

- Vapor de mercurio

El funcionamiento de la lámpara de mercurio se basa en una estructura tubular de cuarzo como se observa en la Figura 19, la cual contiene una cantidad de argón en forma de gas que junto con el mercurio facilitan el arranque de una reacción por medio de una descarga eléctrica, lo que provoca la generación de luz con un espectro luminoso blanco (Camino (2011), este tipo de lámparas han sido mayormente utilizadas para el alumbrado público, pero respecto a esto García (2011) sostiene que debido a su poca eficacia de iluminación y la gran demanda que genera una iluminación vial han sido reemplazadas por lámparas de mayor eficiencia.

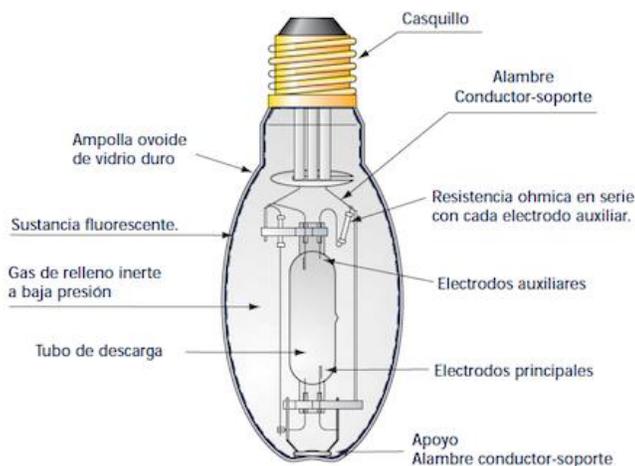


Figura 19. Partes de la lámpara de vapor de mercurio

Fuente: Tomado de Manual de iluminación INDAL, s.f..

- Fluorescencia

La lámpara fluorescente o de fluorescencia data desde el año 1707, la cual emite un espectro luminoso variado entre los colores azul y verde, además de que su sistema de funcionamiento está basado en sustancia gaseosa encapsulada en un tubo de vidrio que se observa en la Figura 20, la cual se hace reaccionar por diferentes procesos químicos para la generación de luz, respecto a esto García (2011) precisa que “Es una lámpara a baja presión que emite radiación visible a través de la sustancia fosforescente que posee el recubrimiento exterior del tubo de descarga. Es de bajas potencias y gran tamaño del emisor.”. Dicho esto, las lámparas fluorescentes presentan diversas características las cuales le permiten posicionarse por encima de otros tipos de lámparas como las lámparas incandescentes debido a su poca emisión de calor al ambiente, además de que, si se opera a unas condiciones óptimas en un rango entre 20 y 60 KHz

presenta un incremento en la eficacia luminosa, también se eliminan los parpadeos, el efecto estroboscópico y los zumbidos (Echazú & Cadena (2012).

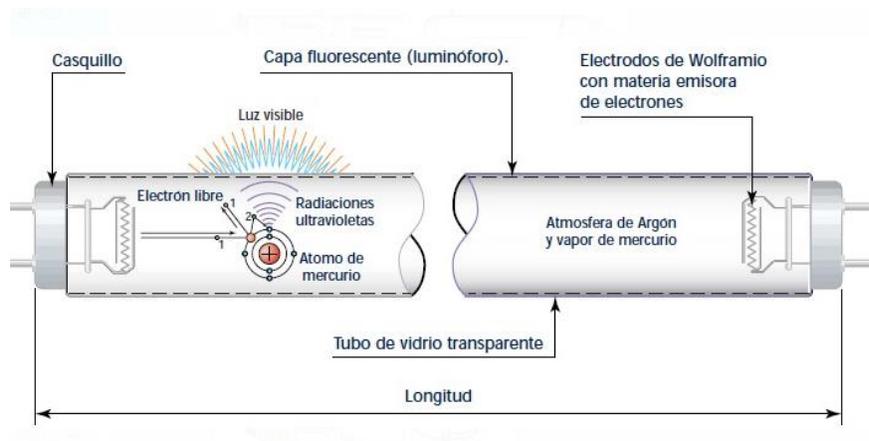


Figura 20. Partes de la lámpara fluorescente y funcionamiento

Nota. La sustancia fosforescente utilizada para la reacción apoyada mediante la presencia de argón en bajas cantidades. Tomado de Manual de iluminación INDAL, s.f.

- Lámpara de Inducción

Este tipo de lámpara surgió por parte de la industria de la iluminación como un aporte ante la obligación que tiene el ser humano con el cuidado del medio ambiente, la cual garantiza un ahorro energético notable. A Partir de esto (Guasch (1998) explica que son lámparas de mercurio de baja presión con revestimiento trifosfórico o en otras palabras una lámpara de mercurio de baja presión con una mejor calidad y cantidad de luz, junto con una vida útil más grande, en la cual la energía para realizar la reacción se transmite a través de radiación de alta frecuencia, la cual está alrededor de 2,5 MHz y en la que no existe un contacto físico entre la bombilla y la bobina. Por lo cual es un tipo de lámpara muy efectiva para trabajos de larga

duración como el del alumbrado público; asimismo (García (2011) nos aconseja que este artefacto lumínico debe ser usado en lugares donde sea necesario un elevado rendimiento del color y bajos niveles de iluminación, los cuales se pueden conseguir con buena uniformidad en sus formatos de baja potencia, además se pueden destacar características como lo son su elevada vida útil de 60.000 horas junto con una moderada eficiencia lumínica; Ver Figura 21.



Figura 21. Lámpara de inducción

Nota. La lámpara de inducción sustituyó el uso de filamentos por una bomba de inducción interna. Tomado de PHILIPS, s.f.

- Lámparas LED

Estas lámparas son compuestas por un LED o un diodo emisor de luz, “ Es un dispositivo semiconductor que emite luz cuasi monocromática cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica” (Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid et al., 2015, pg 19), este dispositivo mencionado se puede observar en la Figura 22 como el chip LED; estas lámparas fueron desarrolladas desde la segunda mitad del siglo XX para la

sustitución de las lámparas incandescentes y desde su creación han sido usadas cada vez más en la industria, como sostienen (Chantera & Tobar (2013) este tipo de lámparas ofrecen una larga vida útil, muy superior a su equivalente incandescente o fluorescente compacta, llegando a unas 50.000 horas de vida útil, además de una eficiencia luminosa de entre 50 y 60 lm/W, así mismo son amigables con el medio ambiente ya que estas lámparas no contienen agentes contaminantes como lo es el mercurio, también presenta una gran versatilidad en el espacio donde se pretenda usar debido a que cuenta con una gran variedad de tamaños. Además (Garcia, 2011) aconseja que las LED se utilicen en lugares donde sea necesario un óptimo rendimiento del color y un entorno el cual se requiere bajos niveles de iluminación.

Las características de este tipo de lámpara pueden señalarse como ideales para un entorno cerrado con bajos niveles de iluminación como lo llega a ser el interior de una mina subterránea, donde el rendimiento del color necesariamente debe ser óptimo para diferenciar los elementos presentes en las diversas zonas de la explotación minera, garantizando una agudeza visual moderada para la realización de sus labores.



Figura 22. Bombilla LED

Fuente: Tomado de Axel Wansart, 2020.

7.6. Sistema de iluminación

Como ya sabemos la iluminación es indispensable para el ser humano a la hora de desempeñar su trabajo, por esto ha ido desarrollando diferentes tecnologías en el paso del tiempo, las cuales le permiten obtener un óptimo ambiente laboral, que le genere un lugar de trabajo confortable, seguro y que le permita comprender su entorno a la hora de ejecutar cualquier actividad, los cuales surgen como una agrupación de varias de estas tecnologías, orientadas a suplir los requerimientos visuales exigidos por la labor en un entorno o lugar de trabajo.

De acuerdo a esto un sistema de iluminación está compuesto por diferentes elementos, con diferentes funciones como la de generar el haz de luz, dirigir ese flujo luminoso y distribuirlo uniformemente o proyectarlo, entre otras, siendo necesarias para cumplir las exigencias visuales

del entorno en donde se desea realizar alguna actividad, por lo cual este sistema integra los siguientes componentes:

7.6.1. Luminarias

Las luminarias se generaron como una necesidad, debido a que todos los tipos de lámparas emiten su luz en casi todas las direcciones, ocasionando incomodidades visuales y debido a las condiciones agresivas del ambiente en donde se utilizan; teniendo esto en cuenta la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de Mexico (2015) las define como un: “Dispositivo que distribuye, filtra o controla la radiación luminosa emitida por una o varias lámparas y que contiene todos los accesorios necesarios para fijar, sostener y proteger las mismas y conectarlas al circuito de alimentación”(pag. 97).

Las funciones que tienen las luminarias son divididas en tres secciones según Gandia et al., (2015), las cuales son:

Funciones Ópticas

- Reducción de la luminancia en direcciones predeterminadas.
- Distribución del flujo luminoso conforme las exigencias visuales del entorno.
- Aumento del rendimiento luminoso

Funciones Mecánicas y eléctricas

- Refrigeración y aislamiento térmico.
- Facilidad de montaje, desmontaje y limpieza.
- Protección contra el polvo, la humedad, etc.
- Protección contra perturbaciones mecánicas.

Funciones Estéticas

- Deben estar en consonancia con el entorno

7.6.1.1. Elementos de una Luminaria

Las luminarias tienen como función principal la distribución y proyección de la luz de una forma regulada; esto se logra gracias a los componentes que la conforman, las cuales permiten controlar las propiedades ópticas y para lo cual se hace necesario de los siguientes elementos:

- **Reflectores**

Los reflectores son los responsables del rendimiento y la duración de una lámpara ya que controlan el haz de luz que emiten, reduciendo así la energía que lleguen a consumir, puesto que la energía es dependiente de la cantidad de luz que llegue a emitir y el tipo de lámpara a usar.

Según la temperatura que llegue a desprender durante su funcionamiento una lámpara, se puede implementar un reflector de distinto material, siendo de chapa de hierro en caso de generación de altas temperaturas, chapa de aluminio en caso de moderadas y en material plástico para aquellas temperaturas poco significativas

- **Reflector circular:** cuando la fuente de luz está situada en el interior de la circunferencia del reflector, el haz de luz rebota y se distribuye como se ilustra en la Figura 23.

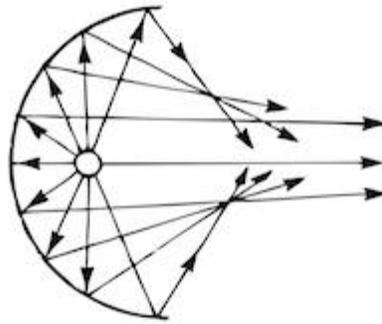


Figura 23. *Reflector Circular*

Fuente: Tomado de PHILIPS, s.f.

Cuando la fuente de luz es situada en el centro de curvatura de la lámpara, la luz que se emite es menor, ya que esta rebota, siendo redirigida a la misma lámpara como se observa en la figura #, donde los haces de luz que se dirigen hacia el reflector son devueltos en la misma dirección en lugar de proyectarlos a la zona de abertura como en la Figura 24.

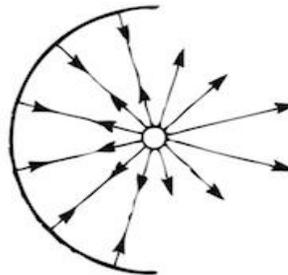


Figura 24. *Cobertura del Reflector Circular.*

Fuente: Tomado de PHILIPS, s.f.

- **Reflector parabólico:** Es comúnmente utilizado en luminotecnia, los haces de luz son reflejados en paralelo cuando la fuente de luz está situada a una relativa distancia

media de la parábola como se muestra en la Figura 25, alcanzando grandes rendimientos y abarcando dimensiones más extensas.

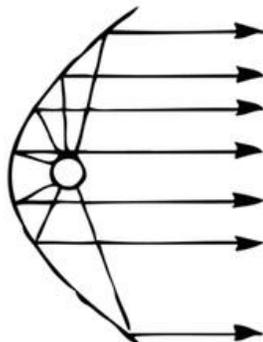


Figura 25. *Reflector Parabólico*

Fuente: Tomado de PHILIPS, s.f.

Reflector elíptico: Este tipo de reflector hace que el haz de luz sea proyectado hacia un foco específico, permitiendo que la luz sea concentrada en un punto concreto en lugar de una extensión uniforme, siempre y cuando la fuente de luz se encuentre en el centro como se muestra en la Figura 26 (Montserrat (2012)).

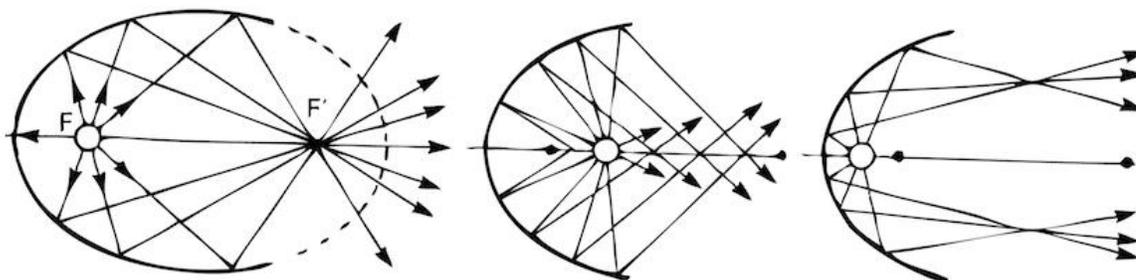


Figura 26. *Reflector Elíptico*

Fuente: Tomado de PHILIPS, s.f.

- **Refractores**

Los refractores o controladores prismáticos son sistemas ópticos complejos, los cuales aprovechan las propiedades refractivas de los lentes y prismas (Assaf et al. (2002), los cuales tienen como finalidad el control direccional del flujo luminoso emitido por las lámparas, garantizando que la intensidad lumínica esté en un rango moderado y que por ende se evite la generación de deslumbramientos (Gandia et al.(2015), como se puede observar en la Figura 27, la cual presenta una Luminaria con lente condensadora y reflector elipsoidal para la generación de un enfoque preciso del haz de luz.

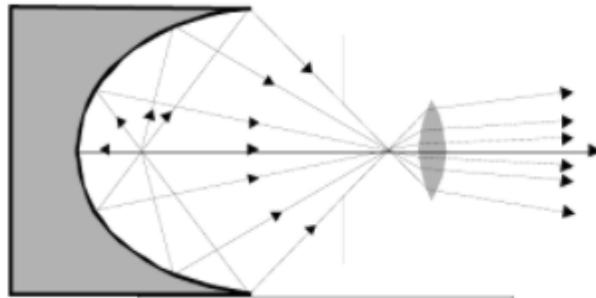


Figura 27. *Luminaria con lente condensadora y reflector elipsoidal*

Fuente: Tomado de Assaf et al., 2002.

- **Difusores**

Los difusores son elementos que transmiten el flujo luminoso de manera difusa o en otras palabras, son los que distribuyen el haz de luz en todas las direcciones para minimizar el brillo emitido por la lámpara, los cuales están hechos de diferentes materiales como acrílico o vidrio

opalino (vidrio para lámparas incandescentes y alta descarga) y acrílico prismático (lámparas fluorescentes) (Gandia et al.(2015). Ver Figura 28.

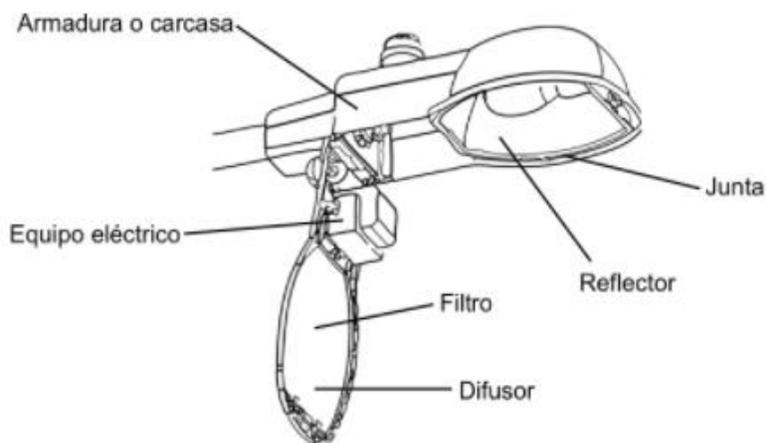


Figura 28. *Partes de una luminaria*

Fuente: Tomado de THOMAS & BETTS CORPORATION, s.f.

- **Dispositivos de Apantallamiento y Filtros**

Son varios los elementos que ayudan a distribuir la luz generada por una lámpara, entre ellos están los filtros o los dispositivos de apantallamiento, los cuales están hechos de plástico o vidrio coloreado con tinturas transparentes, los cuales absorben las longitudes de onda no deseadas, reteniendo la temperatura generada por la fuente de luz y controlando la transmisión del flujo luminoso (Gandia et al., 2015), además Assaf et al. (2002) nos menciona que la técnica del apantallamiento se utiliza para ocultar la lámpara o las lámparas de la visión, como se ve en la Figura 29a, en donde se forma un ángulo de apantallamiento, el cual es el grado en que permanece oculta la lámpara de la visión, este apantallamiento puede venir integrado

directamente en la luminaria o puede ser realizada por elementos externos, como se observa en la Figura 29b, donde se utiliza un elemento en forma de v para formar el ángulo de apantallamiento.



Figura 29. Reflector que proporciona apantallamiento de la lámpara. a) dado por el contorno de la lámpara, b) utilizando un elemento en forma de V.

Fuente: Tomado de Assaf et al., 2002.

- Filtros

Existen dos tipos de filtros, los de absorción y los de interferencia, en donde los primeros son hechos de plástico o de vidrio coloreado con tintes transparentes, los cuales reducen las longitudes de onda no deseadas, reduciendo la cantidad de flujo luminoso emitido (Assaf et al. (2002). Dado que los filtros de absorción generan calor a partir de la energía absorbida, se puede recurrir a los filtros de interferencia los cuales se basan de dos láminas de vidrio trabajadas ópticamente, que presentan superficies adyacentes semi-plateadas, siendo espaciadas a una distancia determinada en la que solamente una pequeña banda de longitudes de onda que pueden traspasar, en donde el resto son parcialmente reflejadas, permitiendo un control ajustado del

rango de longitudes de onda, el cual evita el calentamiento del elemento. Los filtros pueden detallarse en la Figura 28.

Clasificación de luminarias de acuerdo a la Comisión Internacional de Iluminación (CIE)

La función más importante de las luminarias es la de controlar la distribución del flujo luminoso que despiden la lámpara, generando así que esta funcione como un proyector que dirige la luz hacia una zona o lugar determinado haciendo que esta se concentre o sea difusa, de acuerdo a esto la CIE (1986) establece la clasificación de luminarias de acuerdo a su función de distribución. Tabla 4 y su representación gráfica puede verse en la Figura 30.

Tabla 4. *Distribución del flujo luminoso*

Tipo de Luminaria	Hemisferio Superior [%]	Hemisferio Inferior [%]
Directa	0 – 10	90 – 100
Semi-directa	10 - 40	60 – 90
General difusa	40 – 60	40 – 60
Directa – indirecta	40 - 60	40 – 60
Semi – indirecta	60 – 90	10 - 40
Indirecta	90 – 100	0 – 10

Fuente: Tomado de Commission Internationales de l'Eclairage, 1986.

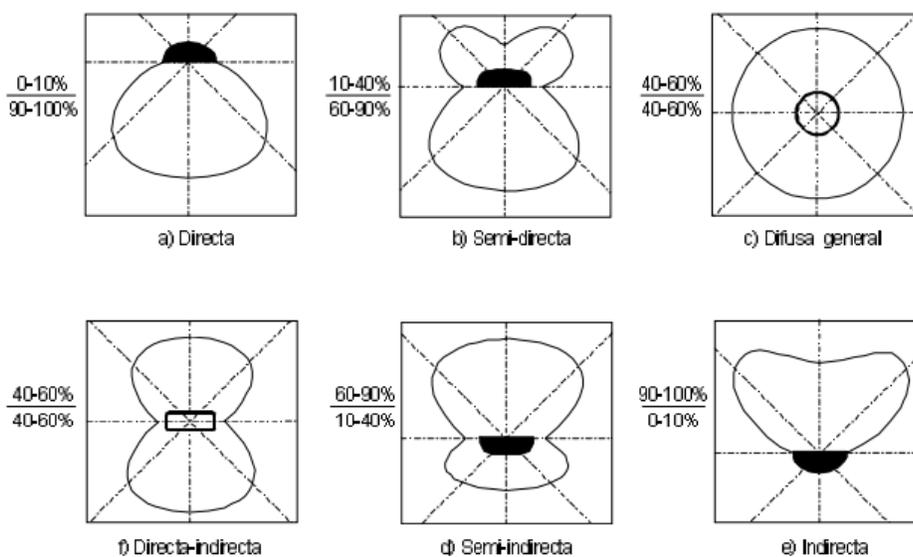


Figura 30. Clasificación según el porcentaje de flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara.

Fuente: Tomado de Assaf et al., 2002.

Esta clasificación de luminarias determinada por la CIE se centra en 3 propiedades principales las cuales la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (2015) describe como:

1. Alcance o extensión a la cual la luz de la luminaria se distribuye a lo largo de un camino.
2. Apertura o la cantidad de diseminación lateral de la luz a lo ancho de un camino.
3. Control o el alcance de la instalación para controlar el deslumbramiento producido por la luminaria. (pág. 99)

7.6.2. Tipos de iluminación

El uso adecuado de las lámparas nos permite obtener una iluminación eficiente, la cual logre satisfacer los requerimientos visuales del entorno en donde se pretenda utilizar, esto mediante el uso de diversos elementos que permiten controlar la distribución del haz de luz, como lo son los componentes de las luminarias, las cuales nos permiten redirigir el flujo luminoso, dando como resultado los tipos de iluminación determinados por el CIE en la Figura 26 como iluminación directa, semi-directa, indirecta, semi-indirecta, general difusa y directa-indirecta, a continuación se describen cada uno de estos tipos de iluminación.

7.6.2.1. Iluminación directa

La iluminación directa tal como su nombre lo indica es aquel flujo de luz producido por una lámpara hacía un objetivo pero que genera una distribución uniforme en el hemisferio inferior, como indica (Soto & Paz (2006) la iluminación directa puede llegar a generar deslumbramientos debido a su rendimiento luminoso que también a su vez produce sombras que no armonizan con el ambiente o lugar iluminado por lo que a esto, Castro & Posligua (2015) afirman la necesidad de un control de luminancia para minimizar los deslumbramientos ya sea por enfoque directo o reflejado.

7.6.2.2. Iluminación semi-directa

La iluminación semi-directa es aquel enfoque de luz uniforme que se logra cuando “La mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejado en techo y paredes. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono a la sala y sin relieve a los objetos iluminados” (Soto & Paz, 2006, pag. 84), este tipo de iluminación

posee menor eficiencia energética que la iluminación directa ya que esta se distribuye con ayuda del reflejo del piso, el cual puede variar dependiendo de sus propiedades luminosas.

7.6.2.3. Iluminación indirecta

La iluminación indirecta es cuando la luz es proyectada en su gran mayoría al techo, logrando la eliminación de las sombras y deslumbramientos directos y/o reflejados, su mayor desperfecto es la baja eficiencia energética que produce, requiriendo de mayores costos en adquisición de iluminación de alta producción de flujo luminoso y además como indican Soto & Paz (2006) una adecuación del lugar a iluminar con pinturas de colores claros con reflectancias elevadas; por lo general este tipo de iluminación es señalada de ser utilizada en salas o sitios decorativos con poco requerimiento de flujo luminoso.

7.6.2.4. Iluminación semi-indirecta

La iluminación semi-indirecta al igual que su contraparte la semi-directa, la distribución de luz es mayor hacia un hemisferio, en este caso el superior, es decir hacia el techo y parte de las paredes se proyecta la mayor cantidad de flujo luminoso y el resto hacia el piso, también cuenta con menor eficiencia energética ya que se proyecta el haz de luz a la parte contraria que se busca iluminar, pero por otro lado se obtiene una gran ventaja al reducir el deslumbramiento esto debido a que el flujo luminoso es menor y no impacta directamente al ojo humano (Castro & Posligua (2015), a lo que Assaf et al. (2002) nos sugieren que la luminaria deberá ser ubicada a una altura correcta para lograr este tipo de iluminación sin que el haz de luz se escape a generar deslumbramiento alguno.

7.6.2.5. Iluminación General Difusa

Es el tipo de iluminación que permite una distribución uniforme de flujo luminoso en ambos hemisferios y a través de la horizontal, lo que produce gran claridad y un ambiente armonioso con relación a la suavidad de las sombras. Esta puede llegar a causar deslumbramientos debido que puede proyectarse directamente a la vista, por lo que las lámparas a utilizar deben de estar ubicadas a una altura prudencial o también que estas sean de un flujo luminoso menor, esto último hace necesario que las paredes del lugar a iluminar cuenten con buena reflectancia, ya sea con colores de pintura claros y/o brillosos (Assaf et al., (2002).

7.6.2.6. Iluminación Directa-Indirecta

Este tipo de iluminación se da cuando la cantidad de luz emitida es igual en ambos hemisferios, pero en la cual el haz de luz no se distribuye con la misma potencia a través de la horizontal, lo cual nos reduce la posibilidad de deslumbramiento hacia estas zonas, a su esta tiene una eficiencia energética bastante alta en comparación a cualquier otra de las que se distribuya su haz de luz en ambos hemisferios a la vez. (Castro & Posligua (2015).

7.6.3. Alumbrado

El alumbrado actual se basa en el aprovechamiento de las diferentes características que tienen los diversos tipos lámparas que se encuentran en el mercado, junto con todos los elementos que la componen para garantizar una óptima iluminación, que genere un confort para la persona. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación

(2001). De tal modo que la lámpara junto con la luminaria cumpla con su función de una manera eficiente y al menor costo posible.

7.6.3.1. Alumbrado general

El alumbrado general consiste en la distribución de las luminarias de una forma ordenada o simétrica entre sí como se observa en la Figura 31, en donde se logra obtener una iluminación uniforme en el lugar que se desee (Gutiérrez et al.(2006). Este tiene como característica que siempre mantendrá una iluminación equilibrada en toda la zona, lo cual genera que, en cualquier parte del lugar iluminado con este sistema, funcione como un espacio que cumpla con la iluminación horizontal y uniformidad requerida para desarrollar las actividades determinadas para este. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001).

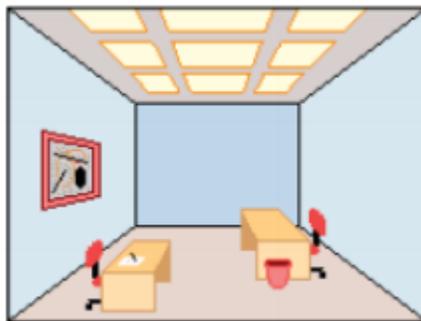


Figura 31. *Alumbrado General*

Fuente: Tomado de Edison-UPC, s.f.

7.6.3.2. Alumbrado localizado

La instalación de elementos suplementarios de iluminación ayudan para la realización de trabajos específicos, a manera de ejemplo se puede notar su necesidad de uso en un trabajo de

oficina como en la Figura 32, donde se hace preciso utilizar una iluminación directa que proyecte un flujo luminoso hacia el escritorio, para así cumplir con los índices máximos de iluminación requeridos para la actividad más exigente que pueda llegar a realizarse en este, como puede llegar a ser el caso de la lectura y la escritura; en apoyo a esto el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001) nos señalan la importancia de un sistema localizado que apoye la iluminación general de un lugar para lograr aumentar así los niveles de luz en un sitio determinado con requerimientos mayores a los generados por el sistema general de iluminación.



Figura 32. *Alumbrado Localizado*

Fuente: Tomado de Edison-UPC, s.f.

7.6.3.3. Alumbrado General Localizado

El alumbrado general localizado se genera debido a la necesidad de mantener un correcto equilibrio entre la luminancia de la zona de trabajo y la correspondiente al entorno global, el cual consiste en un sistema de alumbrado general moderado mediante una disposición regular de luminarias como se ve en la Figura 33, acompañado de un sistema localizado para aumentar los

niveles de luz en la zona de trabajo (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001). Estos deben estar en concordancia para evitar las molestias visuales que se generen por la mala interacción entre ambos sistemas.

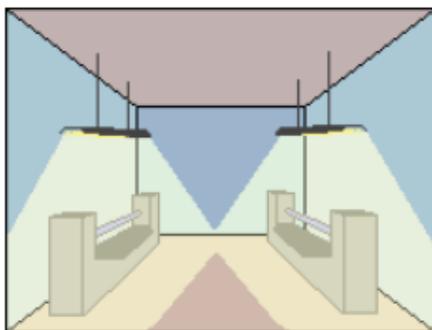


Figura 33. *Alumbrado General Localizado*

Fuente: Tomado de Edison-UPC, s.f.

7.7. Iluminación en Minería Subterránea

La minería subterránea es una de las actividades más complejas de realizar, debido a las difíciles condiciones que afectan los frentes de trabajo a medida que se profundizan las labores mineras, y que deben afrontar los trabajadores, principalmente la presencia de gases (asfixiantes, tóxicos y explosivos), material particulado (que puede generar enfermedades laborales o ser explosivo), incremento de presiones litológicas y presión atmosférica, incremento de temperatura y humedad relativa (a niveles que generan discomfort) y la falta de aire y luz natural, entre otros factores, por lo cual la ejecución de las diferentes operaciones básicas (arranque, cargue, transporte de minerales y rocas) en los diferentes tipos de labores mineras (acceso, desarrollo, preparación y explotación) depende del diseño e implementación de

diferentes mecanismos artificiales para generar un ambiente de trabajo adecuado que garantice el confort y la seguridad de los trabajadores, evitando la generación de enfermedades, incidentes y accidentes de origen laboral, y garantizando la integridad, salud física, psíquica y el buen rendimiento de los trabajadores y, por ende, la productividad de las empresa mineras.

Por lo anterior, el ser humano, desde los comienzos de las actividades mineras, ha buscado implementar una iluminación que satisfaga su requerimiento visual al momento de realizar una actividad en un ambiente subterráneo, por lo cual ha ido desarrollando diferentes maneras de realizar dicha iluminación en el transcurrir del tiempo, pasando por los métodos primitivos como la generación de fuego como fuente de luz a través de antorchas o de una manera más avanzada como las antiguas lámparas de mecha o más recientemente utilizando distintas lámparas eléctricas, las cuales son rigurosamente seleccionadas debido al riesgo de explosión, especialmente en explotaciones de carbón en labores subterráneas, ya que se puede presentar el gas metano CH₄, el cual en concentraciones del 5% -15% es explosivo y puede producirse una explosión si en la zona existe una fuente de energía suficiente. Esta explosión puede producirse por culpa de chispas de origen mecánico o eléctrico.

Las normas de iluminación ayudan a garantizar la seguridad de las instalaciones de iluminación en las minas. Los sistemas de iluminación utilizados en la parte inferior de una mina deben de cumplir con la normativa ATEX, y así evitar el riesgo de propagación de la explosión, se detalla más este tema en el inciso 8.10.2. “Certificación de elementos antiexplosión” respecto a material eléctrico Videocreacion (2013) establece que:

“Todo el material eléctrico y de iluminación empleado en la mina tiene que estar blindado, capaz de soportar una explosión en su interior y evitar cualquier riesgo de propagación, es lo que se llama material antideflagrante” (p.1)

En el caso de requerimientos visuales “La iluminación en el interior de la mina debe ser en buena cantidad y calidad. La cantidad de luz es importante para poder llevar a cabo cualquier trabajo minero. Si aumenta la iluminación, la claridad del lugar también aumentará” (J. D., s.f., p.10). Ver Figura 34.



Figura 34. *Iluminación en labores mineras subterráneas*

Fuente: Tomado de Revista ELECTRICIDAD, 2016.

Los elementos utilizados para la iluminación o alumbrado en las minas subterráneas se dividen, de acuerdo con su aplicación, en equipos de iluminación individual y equipos de iluminación fija o estacionaria.

7.7.1. Iluminación individual

Este tipo de iluminación es la más utilizada debido a su viabilidad económica, ya que para las empresas mineras no es factible iluminar todas las labores subterráneas que se desarrollen durante la explotación del yacimiento mineral, por lo cual se implementa principalmente una iluminación de los frentes de trabajo basada en el suministro de lámparas mineras individuales a todas las personas que ingresen al interior de la mina; esto, de acuerdo con el artículo 279, Capítulo I, Título X del Decreto 1886 de 2015, Reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas, en donde establece que toda persona que trabaje en labores subterráneas, debe disponer de iluminación individual suficiente y adecuada de acuerdo con los sitios de trabajo para prevenir enfermedades laborales y accidentes. Esta iluminación debe ser suministrada por la empresa o titular Minero, y deben estar certificadas como antiexplosión.

Estas lámparas tienen diferentes especificaciones según el fabricante; como ejemplo se incluye la descripción de las características de la lámpara de seguridad Led KJ3.5Lm Bozz Explosion Proof de Polsermin, la cual se ilustra en la Figura 35 y sus características se describen en las Tablas 5 y 6.



Figura 35. Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion Proof

Nota. Este modelo utiliza bombilla led pero también existen actualmente lámparas con bombillas tradicionales. Tomado de Polsermin, s.f.

Tabla 5. Características de la Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion Proof

Características			
Tiempo de trabajo	15 horas	Tiempo de carga	5 horas
Capacidad	3.5 Ah	Vida Útil	800 ciclos
Voltaje	3.6 V	Batería	Li-ion
Fuente de Luz	LED	Peso Total	450g
Corriente	0.25	Cargador	Individual

Fuente: Tomado de Polsermin, s.f.

Tabla 6. *Características de luminosidad Lámpara de seguridad Led KJ3.5LM Bozz Explosion*

Luminosidad	
Inicio de luz	>4500 Lux
11 horas después	>4000 Lux

Fuente: Tomado de Polsermin, s.f.

Este tipo de lámpara también cuenta con las siguientes certificaciones para su uso bajo tierra y en atmósferas explosivas: Certificado GB/T19001-2000 idt ISO9001:2000, CE declaración de conformidad N° 2007-C269-LVD, Certificado anti-exposición Exs I, Declaración de Conformidad N° KD06250, KD06251. Además, este equipo fue el modelo usado por la entidad INGEOMINAS, anterior autoridad minera delegada en Colombia por el Ministerio de Minas y Energía, actualmente ejercida por la Agencia Nacional de Minería ANM, para la realización de las visitas de seguimiento y control de títulos mineros y para las acciones de salvamento minero en nuestro país.

De acuerdo con lo anterior, existen muchas empresas productoras de estos equipos de iluminación, cada una de las cuales fabrica diferentes modelos. Actualmente se está utilizando principalmente un tipo de lámpara LED debido a su gran versatilidad de tamaños de bombillas, los cuales son perfectos para este tipo de ambientes de espacios reducidos, empleadas en diversos campos de acción pero cada uno siendo certificado para el uso en minería subterránea

como se explica más adelante en este escrito en el ítem de normatividad; algunas de esas empresas son: BOZZ, MSA, FASER, WISDOM, SAFIN, LIBUS, entre otras, los cuales fabrican lámparas según los requerimientos del entorno minero en el cual se desee utilizar.

En estas lámparas se integran varios componentes de las luminarias fijas, como lo son la **bombilla** de 48 lúmenes en combinación con el **foco reflector** único, para poder obtener un control óptimo de la emisión del haz de luz, como se puede ver en la figura 36, diseñados y fabricados específicamente por Enersys, la cual produce una fuente de luz centrada en proporcionar un punto de iluminación de 5.000 lúmenes a 1 metro.



Figura 36. LÁMPARAS (DE HALÓGENO) SERIE G en combinación con el foco reflector

Nota. Este modelo utiliza una bombilla tradicional. Fuente: Tomado de Enersys, 2008.

Este modelo G de la empresa Enersys utilizando su bombilla halógena principal junto con su reflector logran una emisión de flujo luminoso de 9.500 candelas, la cual tiene una intensidad mayor en la región de onda larga del espectro de luz cuando se compara con otras fuentes de luz., activando los foto-receptores de los ojos, más exactamente lo de tipo cono, logrando así que el ojo visualice los colores, de manera que facilita la percepción de los detalles en la realización de

las actividades mineras subterráneas, como lo son la diferenciación de la vena mineral de una mina de níquel. (OLDHAM (2008).

Además el uso de estas lámparas en la ejecución de actividades mineras subterráneas resulta muy efectivo debido a que todos los modelos de las diversas empresas cuentan con una vida útil alta y necesita poco mantenimiento, pero por otro lado si requiere de verificaciones constantes, ya que su funcionamiento puede verse afectado por golpes bruscos o como lo plantea la empresa OLDHAM (2008) que poco a poco se va reduciendo el voltaje de la batería, afectando seriamente a la emisión de luz, en donde una pequeña variación del voltaje reduce mucho la salida de lúmenes. Para demostrar este efecto se puede observar la Figura 37, en donde se evalúa el rendimiento de la bombilla principal “Oldham” la cual presenta t 48 L (Lúmenes) y una vida encendida de más de 1.000 horas, junto con una bombilla de criptón de 4v 0,46A proporciona la “luz piloto” auxiliar. En donde esta bombilla ha sido evaluada como capaz de ofrecer una fuente de luz de bajo nivel confiable durante un lapso de tiempo de 24 horas a una persona que quede atrapada en una mina subterránea.

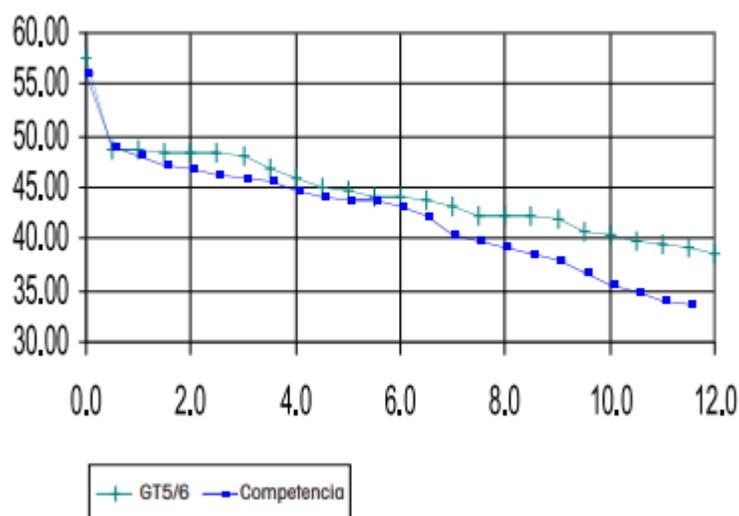


Figura 37. Rendimiento de la bombilla

Fuente: Tomado de OLDHAM, 2008.

7.7.2. Iluminación estacionaria

La iluminación fija o estacionaria para minería subterránea consta de un sistema integrado por varios componentes, como se explicó con anterioridad en el ítem 8.6. Sistema de iluminación, el cual está sujeto a una rigurosa normatividad para su funcionamiento, debido al peligro por atmósferas explosivas en las operaciones mineras, y está conformado de la siguiente manera:

- Lámparas

La minería subterránea como cualquier otra actividad ha ido utilizando diversos tipos de lámparas, las cuales se adapten mejor al ambiente subterráneo y que satisfaga los requisitos de

iluminación necesarios para ejecutar, de una forma óptima y segura, las diferentes operaciones en los diferentes tipos de labores mineras, por lo cual actualmente se utilizan los tipos de lámpara que se evidencian en la Tabla 7, en donde se observa las diferentes bombillas que se pueden utilizar en minería y sus características.

Tabla 7. Comparación de las fuentes de luz en minería subterránea

Tipo de fuente de luz	Luminancia aproximada cd / m² (bombilla transparente)	Vida media nominal (h)	Fuente DC	Eficacia inicial aproximada lm · W⁻¹	Reproducción de color
Filamento de tungsteno	10 5 hasta 10 7	750 hasta 1000	Sí	5 hasta 30	Excelente
Incandescente	2×10^7	5 hasta 2000	Sí	28	Excelente
Fluorescente	5×10^4 hasta 2×10^5	500 hasta 30.000	Sí	100	Excelente
Vapor de mercurio	10 5 hasta 10 6	16.000 a 24.000	Sí con limitaciones	63	Promedio
Halogenuros metálicos	5×10^6	10,000 a 20,000	Sí con limitaciones	125	Bien

Sodio de alta presión	10 7	12.00 0 a 24.000	No aconsejado	140	Justo
Sodio a baja presión	10 5	10,00 0 a 18,000	No aconsejado	183	Pobre

cd = candela, DC = corriente continua; lm = lúmenes.

Nota. La iluminación en minería subterránea se basa en la selección de la lámpara que cumpla con las exigencias visuales del entorno. Fuente: Tomado de ILO Content Manager, 2011.

Como se evidencia en la tabla anterior en minería subterránea se pueden utilizar diferentes tipos de lámparas, por esta razón el sistema de iluminación estacionaria se basa en la elección del mejor tipo, el cual cumpla con las exigencias visuales del entorno, además de que lo realice de la manera más eficiente posible; debido a esto las lámparas de filamento de tungsteno y las fluorescentes son las más utilizadas para iluminar las aberturas subterráneas debido a su diseños compactos los cuales son perfectos para esta actividad con espacios reducidos (ILO Content Manager (2011). El decreto 1886 del 2015 especifica que en las vías y en los cruces se debe instalar este tipo de iluminación y de igual manera en donde haya instalaciones con movimiento.

Teniendo esto en cuenta las lámparas mineras certificadas vienen integradas directamente con el equipo antiexplosión, los cuales son los encargados de proteger dicha fuente de luz contra el agua, el polvo, gases, golpes, etc. Además de que estos elementos protectores sirven como luminarias que controlan la dirección y el flujo del haz luminoso, para garantizar una óptima

iluminación que cumpla con los requerimientos del entorno, debido a esto en el mercado se encuentran los siguientes tipos de lámparas para el sistema de iluminación estacionaria para minas subterráneas que se están utilizando más actualmente son las:

- **Lámparas Led**

Actualmente los diodos emisores de luz son más utilizados en la industria, incluyendo la industria minera ya que suponen una ventaja frente a la iluminación convencional como lo son su larga vida útil, su escaso consumo, y la reducción al mínimo de la emisión de calor y rayos ultravioleta los cuales atraen insectos, además de que no contienen mercurio, metales halogenuros o polvos fluorescentes (Rios (2019), sustituyendo las siguientes fuentes de luz tradicionales:

Debido a que ofrecen hasta un 85% de ahorro energético en comparación con las fuentes:

➤ Incandescentes y Halógenas

Además, generan un 50% de ahorro energético sobre las lámparas tradicionales más eficientes, como lo son las siguientes:

➤ Fluorescentes

➤ Lámparas de descarga (alumbrado. Basadas en sodio, halogenuros metálicos o vapor de mercurio).

➤ Fluorescencia compacta (conocidas como de bajo consumo).

Es de acuerdo con estas ventajas por lo que actualmente este tipo de bombillas son más utilizadas, especialmente en minería subterránea en donde sus tamaños compactos se acoplan de una manera eficiente a las secciones reducidas en donde se realizan estas actividades. Además de que este tipo de lámparas tiene una gran ventaja sobre el aprovechamiento de los lux emitidos como se puede evidencia en la Figura 38, ya que las lámparas tradicionales se basan en proporcionar más lúmenes, los cuales son la cantidad total de luz emitida en todas las direcciones, en vez de aprovechar el direccionamiento de estos como lo hacen las led al dirigirlos a un área determinada.



Figura 38. *Flujo Luminoso de Diferentes Luminarias*

Fuente: Tomado de S.C, 2015.

Este tipo de lámpara tiene un aprovechamiento de los lúmenes de 91% en comparación a las tradicionales con el uso de reflectores y los diferentes elementos de las luminarias para el direccionamiento y distribución del flujo luminoso, como se puede apreciar en la Figura 39.

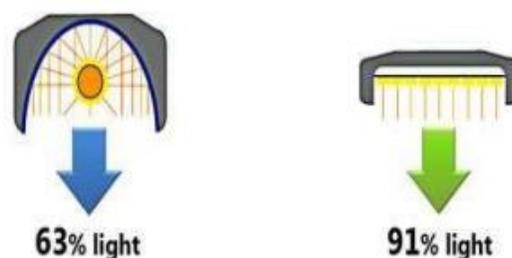


Figura 39. Comparación aprovechamiento de lúmenes

Nota. El uso de las lámparas tradicionales junto con los diversos elementos de las luminarias permite un aprovechamiento de los lux, aunque no de una manera tan eficiente como el de las lámparas led. Fuente: Tomado de SC, 2015.

De acuerdo a esto, se dispone en el mercado de algunas de las lámparas led para minería subterránea desarrolladas por diversas empresas, las cuales cuentan con la certificación Atex para su uso en atmosferas explosivas como lo son las siguientes lámparas LED de la empresa **Airfal** y las de **Atex Del Valle**:

Luminaria Watex Airfal

Es una luminaria con certificación ATEX para uso en Zonas 2-22, las cuales son descritas en la Tabla 17. Zonas Atex. además de que presenta una protección IP66 (Es el grado de protección de un equipo el cual lo certifica como hermético al polvo y protegido contra chorros de agua potentes) según la normativa internacional EN 60529 (BS británica EN 60529: 1992, IEC

europea 60509: 1989, siendo utilizada en actividades mineras subterráneas y la cual se puede apreciar en la Figura 40.



Figura 40. *Luminaria Watex*

Fuente: Tomado de Airfal, s.f.

Luminaria Led Atex Tureis Z2

Esta luminaria es desarrollada en un material de policarbonato de poliestes reforzado, el cual ofrece un grado de protección de IP66 y la certifica para su uso en zonas 2, 21 y 22, descritas en la Tabla 17. Zonas Atex., cumpliendo las normativas Atex para su uso en minería subterránea. Ver Figura 41.



Figura 41. *Led Atex Tureis Z2*

Fuente: Tomado de Atex del Valle, s.f.

- Cintas LED

Actualmente la innovación de la industria de la iluminación ha destacado con el desarrollo de los diodos emisores de luz, logrando así evolucionar la iluminación led, debido a los nuevos desafíos de la iluminación minera, ya que las lámparas de uso tradicional son dificultosas de instalar en una labor minera y en donde se genera un alto costo para mantenerlas debido a al polvo, la humedad, el agua ácida, los machucones, además a esto se le deben agregar otras variables como las exigencias de los contratistas camioneros a no obstruir la sección del túnel ya que trabajan por comisión, por lo cual la empresa Iluminatronics (2016) desarrolló las cintas led flexibles las cuales funcionan a través de una interconexión de varias secciones, como se puede observar en la Figura 42.



Figura 42. Kit de cinta led iluminatronics de 10m

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016

Con estas cintas e iluminación Led se obtiene una ventaja significativa en consumo energético, ya que poseen mayor eficiencia generando ahorros hasta del 50%. Su instalación es fácil y rápida, en donde sólo hay que conectar 5 carretes de 10 m hasta formar un segmento 50m sin exceder de 100m y en el cual se debe energizar a 230V cada 50 m ó 100 m (Ver Figura 43).



Figura 43. Unión de carretes de cinta led para instalar en un túnel

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016.

La sujeción se realiza con cinchos directamente de cables de distribución de 230V, como se puede observar en la Figura 44, ahorrando tiempo de instalación y mantenimiento generando ahorros adicionales del 25% mensual en gastos de mantenimiento.



Figura 44. *Instalación cinta led interconectable en un túnel*

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016.

“Las cintas led están cubiertas de silicón transparente de uso rudo con las siguientes características:

- Los conectores vienen ensamblados de fábrica para conectorización plug and play.
- Son a prueba de agua y al polvo con un grado de protección IP68
- Están cubiertas de silicón retardante al fuego y resistente al frío.
- Son cintas led seguras selladas con silicón de grado alimentario libre de halógenos y cualquier sustancia tóxica.
- Son resistentes a las aguas ácidas de los túneles
- Son resistentes a las vibraciones y a la compresión soportando el paso de un camión (Ver Figura 45)

- Poseen protección interna contra corto circuito, elevación de temperatura y variaciones de voltaje.” (AEQUO Contratistas Generales, s.f).



Figura 45. Resistencia a la compresión de la cinta led

Nota. El recubrimiento de silicón permite que los diodos emisores de luz no sean afectados en gran medida por los esfuerzos de compresión. Tomado de Iluminatronics, 2016.

Estas cintas Led ofrecen también la ventaja de eficiencia en casos de reemplazo por daños o averías de unidades de iluminación, ya que permiten sustituir rápidamente un segmento dañado de 1m, en lugar de reparar un segmento de 50 ó 100m, generando ahorros en mantenimiento, como se puede evidenciar en la Figura 46.



Figura 46. Sistema de iluminación con cintas led

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016.

Estas cintas Led han tenido alta aceptación en el mercado, debido a que cumplen con requerimientos para vías subterráneas a un costo bastante bajo de adquisición, mantenimiento y gasto energético; presentan diferentes características, debido a la variada gama de modelos que existen en el mercado, como se puede ver en la Figura 47 en la cual se reportan algunos modelos de la empresa Iluminatronics:

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CINTAS LED			
Modelos de Cintas LED de Alto Voltaje	17W-SL10-230V	12W-SL10-230V	09W-SL10-230V
Input Voltage	230 VAC		
Rango de alimentación por lado	Recomendable hacer segmentos de 50m pero no exceder de 100 metros		
Temperatura de operación	-45°C a +50°C		
Rango IP de Cintas LED	IP68		
Rango IP de conectores	IP68		
Potencia consumida por metro	17W	12W	9W
Indice de rendereo de color CRI	mayor de 80		
Color de temperatura	6500 °Kelvin		
Eficiencia luminosa	88 L /W	80 L /W	80 L /W
Lúmenes por metro	1500-1600	1200-1300	700-800
Rango de Voltaje Alterno	de 200 a 240 VAC		
Ahorros por mantenimiento	más del 20% anual		
Periodo de vida útil	5 a 10 años		
Garantía de la cinta LED	3 Años		
Dimensiones	4mm x 14mm		
Conectores	Ensamblados de fábrica		
Tensión de ruptura	alrededor de 50 Kg		
Retardante al fuego	Si		
Recubrimiento exterior	Cubierta de silicon de grado alimentario libre de halógenos		
Protección de sobrevoltaje	Si		
Protección de sobrecalentamiento	Si		
EmpaqueTADO	Rollos de 10 metros interconectables con conector de rosca IP68		

Figura 47. *Especificaciones técnicas de Cintas LED*

Fuente. Tomado de Iluminatronics,2016.

De igual modo que las lámparas tradicionales de uso minero, las cintas de iluminación Led garantizan un nivel de iluminación acorde con los lineamientos normativos internacionales al ofrecer un flujo luminoso de 50 Lux en túneles subterráneos, además de que pueden emitir un nivel de iluminación mayor, dependiendo de la distancia a la cual se instale de la superficie a iluminar, como se evidencia en la Figura 48.

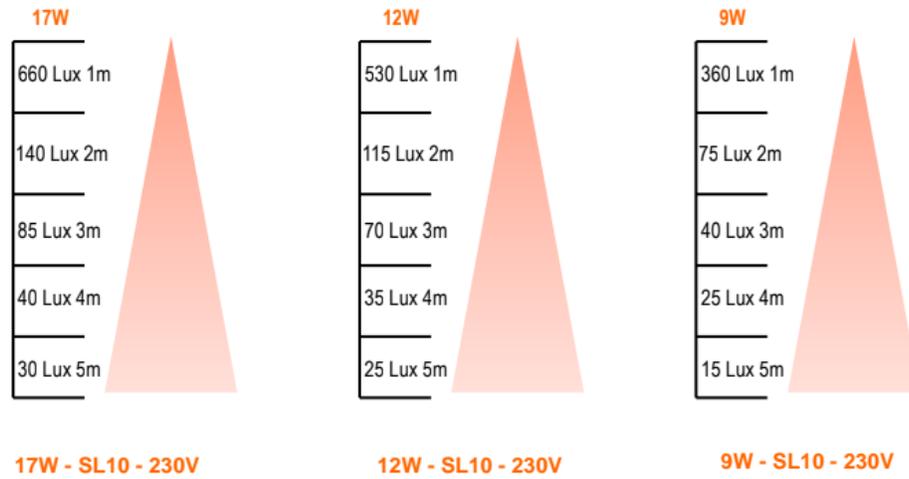


Figura 48. Nivel de iluminación emitido.

Fuente: Tomado de Iluminatronics,2016

En la Figura 49 se ilustra un ejemplo de iluminación puntual con iluminación deficiente en medio de lámparas estacionarias en un túnel de sección libre 4 m x 5 m



Figura 49. Iluminación deficiente de un túnel con lámparas estacionarias

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016.

En la Figura 50 se ilustra un caso de iluminación con cinta Led de 9 Watt, generando 97 luxes de forma uniforme en un túnel de sección libre 4 m x 5 m.



Figura 50. *Iluminación eficiente de un túnel con cinta Led*

Fuente: Tomado de Iluminatronics, 2016.

En la Figura 51 se ilustra un caso de iluminación con cinta Led de 17 Watt, generando 100 luxes en un túnel minero de 10 m de ancho por 8 m de alto, de doble sentido.



Figura 51. *Iluminación con cinta Led de un túnel minero de doble sentido*

Fuente: Tomado de Iluminatronics,2016.

- Cableado

El cableado necesario para minería subterránea debe de cumplir con los requisitos establecidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (2013) el cual en el artículo 30 inciso 3 “Uso de cables eléctricos apropiados”, define la obligatoriedad de aprobación de cables según el tipo de clasificación que se requiera para minería, las tres fases deben de estar protegidas en un mismo bloque, de manera que no se induzcan a corrientes que produzcan calentamientos peligrosos.

El RETIE define tres tipos de cables posibilitados para ser usados en minería subterránea

- Cables armados: utilizados para instalaciones fijas, construido en un mismo bloque con los tres conductores aislados para sistema trifásico, con material plástico, armadura metálica y una cubierta exterior de PVC. Ver Figura 52.



Figura 52. Cable con aislamiento de PVC, armado con flejes bajo cubierta también de PVC, tipo SINTENAX F para baja tensión

Fuente: Tomado de Canalizaciones eléctricas. s.f.

- Cables flexibles armados o semiflexibles: Utilizados en instalaciones de baja movilidad, cuenta con una estructura igual a la de cables armados, pero con una cubierta exterior con gran resistencia a la abrasión, además de que posee mayor movilidad y es el más comúnmente utilizado, Ver Figura 53

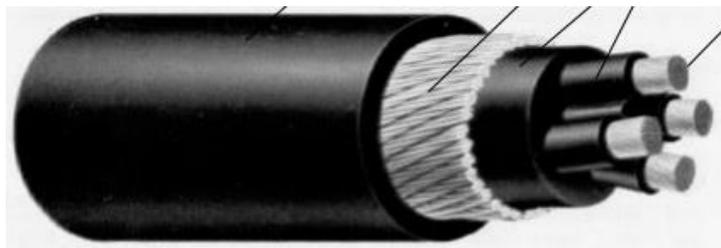


Figura 53. Cable semiflexible con aislamiento de goma, armado con hilos bajo cubierta de neopreno para servicios de minería, baja tensión

Fuente: Canalizaciones eléctricas. s.f.

- Cables flexibles: Utilizados para instalaciones móviles, poseen una protección y movilidad mucho mayor, compuesto también por sistema trifásico. RETIE (2013). Ver Figura 54.

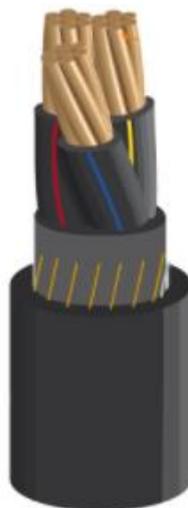


Figura 54. Cable flexible Acometida 3x8+8 trifásico certificado

Fuente: Tomado de Formaselectricas, s.f.

Los cables están compuestos por varias partes, gran mayoría de estas para brindar la seguridad que se requiere para ambientes potencialmente explosivos, como se observa en la Figura 55, el

conector (1) está formado por hilos de cobre y es por donde circula la corriente, el aislante (2) es el material que rodea al conductor, la cubierta (3) protege al aislante mediante una capa de relleno tubular, la armadura (4) brinda una protección metálica, la pantalla (5) es un recubrimiento que abarca a cada conductor o a todos en conjunto y a su vez desconecta el sistema cuando el cuadro resulta averiado, las protecciones (6) se aplican sobre la armadura y sirven para proteger el cable contra agentes físicos y químicos, los hilos piloto (7) son conductores aislados que sirven para fortalecer el conjunto del cable y finalmente el recubrimiento exterior (9) que genera protección primaria ante cualquier factor físico y químico directo además de mantener los componentes en su sitio.

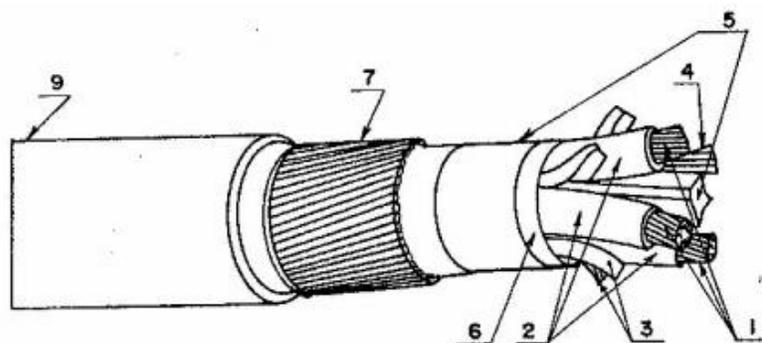


Figura 55. Componentes de un cable eléctrico blindado

Fuente: Tomado de I.T.Minas, s.f.

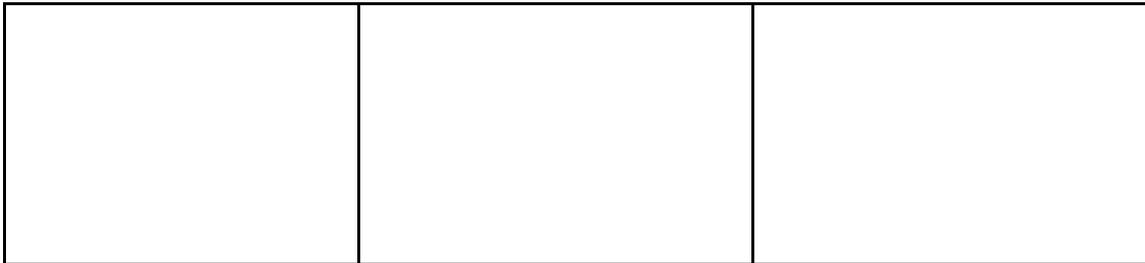
Adicionalmente, el RETIE también especifica la necesidad de que empalmes a cables o conductores que superen los 750V deben de ser realizados por personal competente y el aislamiento debe ser igual o superior al del cable original siendo este sellado contra humedad,

además de que todos los cables utilizados para minería subterránea deben contar con su marcado que especifique y certifique su uso para este ambiente.

La normatividad en Colombia exige para labores mineras subterráneas utilizar un cableado que sea antiexplosión y que no sea propagador de llama, como es el caso de la empresa Centelsa que actualmente ofrece para la industria minera diferentes tipos de cables que cumplen con las disposiciones del RETIE, junto con las normas ANSI/NEMA WC 58 - ICEA S - 75 - 381 - Portable & Mine Power Feeder Cables y/o NTC 6057 Cables Portátiles y de Alimentación de Potencia para uso en minas y aplicaciones similares; algunos de los ejemplos de cableado que son utilizados en minería subterránea y que produce la empresa Centelsa se relacionan en la Tabla 8.

Tabla 8. *Cables para industria Minera de la empresa Centelsa*

Cables para industria Minera – Centelsa		
Sin conductores de puesta a tierra		Con conductor de puesta a tierra
Cable Monopolar 2kV Tipo W	Cable Multiconductor Redondo 2kV Tipo W	Cable Multiconductor Redondo 2kV Tipo G
		



Fuente: Adaptado de Centelsa, s.f.

- **Transformador**

Los transformadores según Rodríguez (2012) “son máquinas estáticas con dos devanados de corriente alterna arrollados sobre un núcleo magnético (Ver Figura 56). El devanado por donde entra energía al transformador se denomina primario y el devanado por donde sale energía hacia las cargas que son alimentadas por el transformador se denomina secundario.” (pag. 1); el cual tiene como función la disminución de la tensión eléctrica, sin alterar la potencia; es de demasiada importancia para todos los sectores industriales e indispensable para la minería, debido a que todos los diversos equipos eléctricos que se puedan emplear dependen de una alimentación eléctrica controlada.

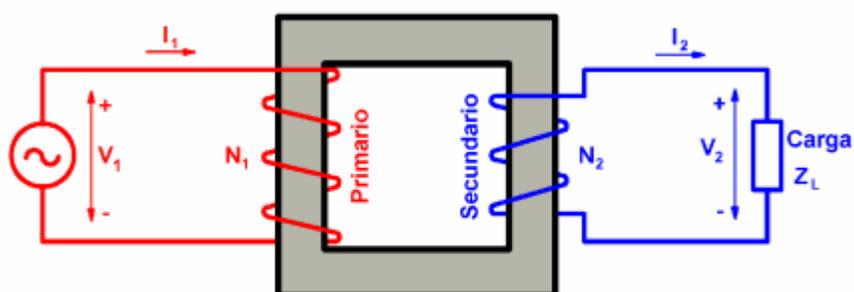


Figura 56. Principio de funcionamiento de un transformador monofásico

Fuente: Tomado de Rodriguez, 2012

- **Tablero de distribución eléctrica**

Un tablero eléctrico o también nombrado como cuadro, gabinete, panel, consola o armario eléctrico que funciona a baja tensión, son los encargados de la protección y distribución de todos los elementos del circuito eléctrico (Cardozo, 2011, Pág.16), el cual permite obtener un control de toda la red eléctrica tanto de funcionamiento como de señalización para garantizar un óptimo funcionamiento y abastecimiento energético de todos los equipos, como se puede observar en la Figura 51, a cada botón puede asignársele un equipo eléctrico para provisionar energía o dejar de hacerlo, existen de varios interruptores como el de la Figura 57 o más sencillos para un solo equipo eléctrico.



Figura 57. *Tablero de mando a prueba de explosion serie XO*

Fuente: Tomado de Eaton Corporation, s.f

7.7.3. Iluminación Inteligente Para Minería Subterránea

Actualmente las diferentes industrias no solamente se preocupan por realizar una óptima iluminación, la cual satisfaga los requerimientos visuales del entorno, sino que buscan implementar un sistema que reduzca los costos de operación; esto debido a las grandes pérdidas energéticas que se generan, como se puede observar en el Balance Energético Colombiano – BECO del 2015, en donde la proporción de energía útil y pérdidas en la matriz energética nacional fue de 48% y 52% respectivamente, con unos costos estimados de energía desperdiciada cercanos a los 4.700 millones de dólares al año; es claro que el potencial teórico de Colombia

para mejorar la eficiencia energética es significativo. (Ministerio de Minas y Energía -MME., (2016). De acuerdo, a esto en la Figura 58 se señala que la industria minera es la sexta actividad más consumidora de energía eléctrica con un 2%.

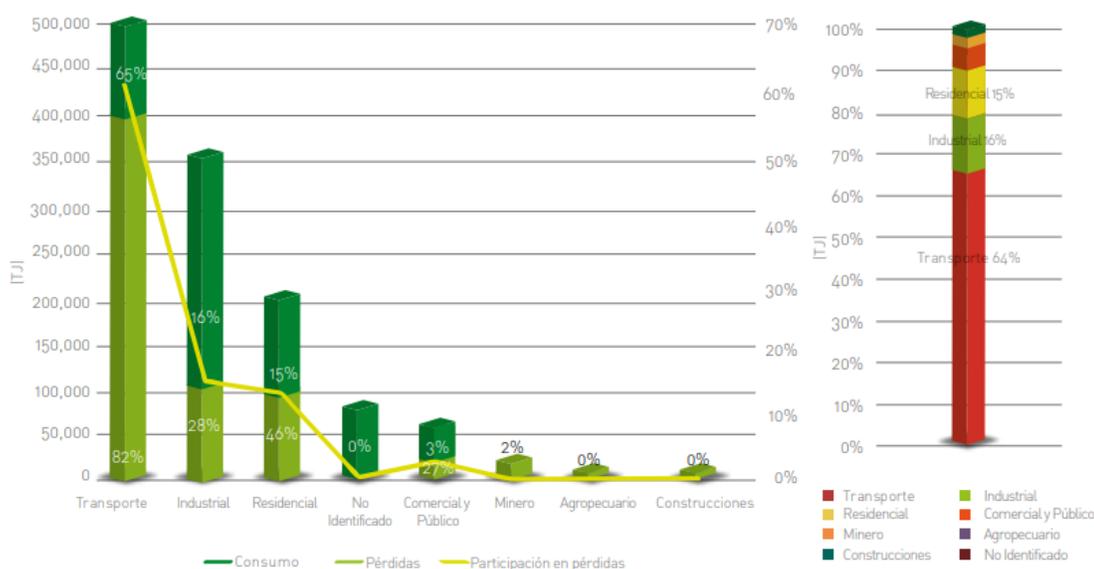


Figura 58. Consumo Energético BECO 2015

Fuente: Tomado de la Upme, 2016

Además, el Ministerio de Minas y Energía -MME., (2016) señala que para este mismo año el uso de la energía eléctrica en la industria destinado a la iluminación fue del 5.3%, como se puede observar en la Figura 59, demostrando el gran consumo de energía eléctrica que se destina para garantizar este servicio, por lo cual las diferentes industrias y dentro de ellas la industria minera deben dar especial importancia a realizar el diseño e implementación de un sistema de

iluminación inteligente que beneficie la economía de las empresas reduciendo los costos de operación.

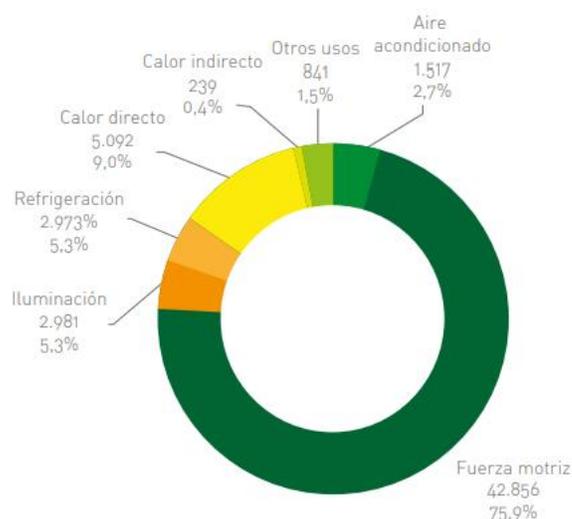


Figura 59. Participación de los usos de la energía eléctrica en la industria

Fuente: Tomado de la Upme, 2015

La Revista ELECTRICIDAD (2016) señala que diversos especialistas coinciden en que actualmente las actividades mineras avanzan hacia la llamada “iluminación inteligente”, con el uso de sensores de presencia y de luminosidad para encender y apagar luces en el momento en que se requiera; de acuerdo a esto, (Airfal, s.f.) expone que su servicio de iluminación va más allá y ofrece luminarias que permiten controlar todo el sistema de iluminación mediante el modelo –Pyros, el cual es una luminaria ATEX que logra conocer todo lo que sucede en una instalación industrial y maximizar su eficiencia, en donde su aplicación actual es en puertos marítimos, en túneles y grandes industrias, ya que ofrece grandes ventajas.

Airfal International diseña un modelo de iluminación que controla y verifica a distancia el estado de las luminarias, utilizando solamente el circuito de cableado de alimentación, el cual se basa en una luminaria que puede recibir la información de las condiciones de la luminaria y transmitirla para su procesamiento. Aunque este sistema es compatible con cualquier modelo de luminaria, esta empresa ha empezado a ejecutarlo con el modelo Pyros, el cual se puede observar en la Figura 60, esto debido a que se trata del modelo perfecto para instalaciones industriales en donde existe el riesgo de atmosferas explosivas (Pyros es un modelo ATEX y antideflagrante para Zona 21).



Figura 60. *PYROS LED lighting*

Fuente: Tomado de Airfal, s.f.

Características:

- IP66
- DALI
- L70B50>50.000
- II2GD
- Ex db op is IIB+H2 T6 Gb
- Ex op is tb IIIC T85°Db

Este Sistema cuenta con un dispositivo que se encarga de dar las ordenes al Digital Addressable Lighting Interface (DALI) o en español la Interfaz de iluminación digital direccionable, la cual se puede visualizar en la Figura 61, en donde estas órdenes pueden ser la

regulación de la intensidad del flujo luminoso emitido, la variación de las tonalidades de la luminaria, o simplemente dar las órdenes de encender o apagar.

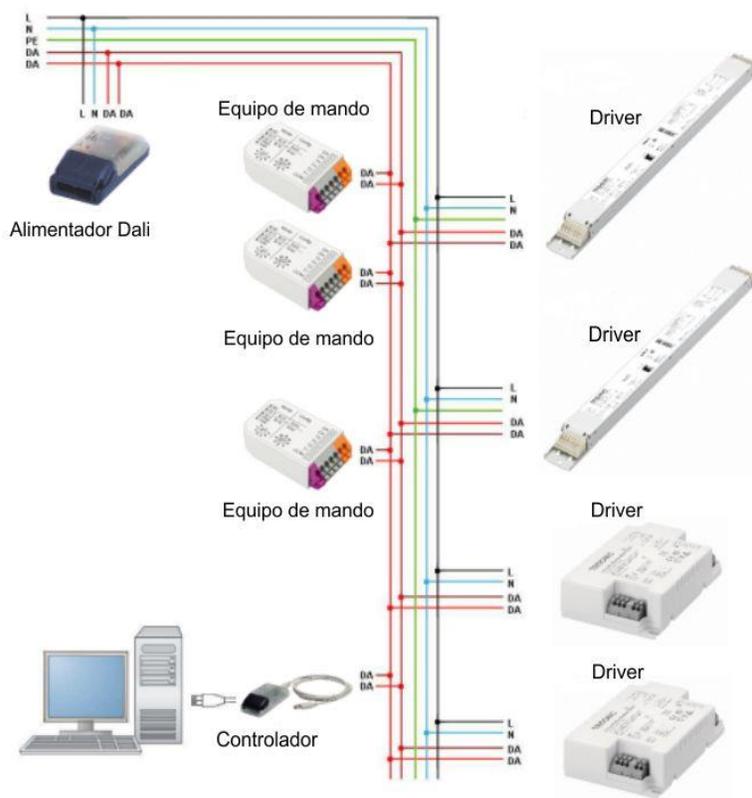


Figura 61. Conexión del sistema de iluminación DALI

Fuente: Tomado de Luzycolor2000, s.f.

De otra parte, el uso de sensores, como el que se puede observar en la Figura 62 es opcional, pero estos permiten mejorar el ahorro energético ya que son equipos que detectan la luminosidad o la presencia y los cuales se pueden configurar con diferentes órdenes automáticamente en función de su estado, como el autoapagado cuando no detecte movimiento.



Figura 62. *Sensores y detectores*

Fuente: Tomado de Luzycolor2000, s.f.

Por último, se encuentra el dispositivo controlador o un dispositivo móvil, que se puede visualizar en la Figura 63, el cual muestra la disposición de las luminarias en la instalación, permite verificar las condiciones de la luminaria, además de visualizar su funcionamiento y permite enviar las ordenes al sistema. Además, es de utilidad para efectuar un análisis del sistema y para poder realizar mejoras en su funcionamiento.



Figura 63. *Dispositivo Móvil*

Fuente: Tomado de Airfal, s.f.

7.8. Efectos nocivos a la salud por deficiencia de iluminación

Una iluminación ineficiente durante horas de trabajo puede ocasionar al trabajador un sentimiento de molestia, cansancio o posible dolor, que repercuten en el estado psicológico más que en el físico y como señala Seguridad Minera, (2012) “La mala iluminación obliga al trabajador a tener que acercarse con frecuencia al objeto de trabajo, provocando la fatiga, lo que podría causar algún accidente”

La iluminación eficiente ofrece un ambiente con un confort visual el cual permite obtener una mejor visualización del entorno que rodea al individuo, un menor desgaste del ojo, una mejor reacción, entre otros beneficios; pero también en caso contrario, una iluminación deficiente puede ocasionar afectaciones a la integridad del trabajador como trastornos oculares, fatigas visuales, pesadez, lagrimeo, cefalea, fatiga general, efectos anímicos y presencia de nistagmus (Racines & Lozada (2019), esta última hasta principios del siglo XX era una afección ocular que sufrían los mineros, para la cual no existía curación y en la que se generaba un movimiento incontrolado de los globos oculares, junto con dolores de cabeza, presencia de vértigos y la reducción de la visión nocturna, en donde su principal causa era la ejecución de trabajos con niveles de iluminación bajos durante lapsos de tiempo largos, siendo los mineros de carbón los más afectados debido a la poca reflexión de luz del carbón. Pero con la introducción de las lámparas de seguridad eléctricas, esta enfermedad ha desaparecido (Amstrong & Menon (1998); Además este autor también plantea que con los últimos avances tecnológicos en el ámbito de iluminación en la actualidad es posible disponer de niveles de luz que no hubieran sido difíciles de alcanzar hace tiempo. Debido a esto el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el

Trabajo de España (2007) sostiene que se generan otros factores relacionados con este tema, los cuales siguen incidiendo en la salud de los trabajadores como lo son la generación de deslumbramientos constantes y sucesivos los cuales producen una fatiga visual y al transcurso del tiempo alteraciones del ánimo, insatisfacción y dolores de cabeza, de igual manera el contraste del brillo y la disposición de la luminosidad afectan la agudeza visual, o en otras palabras, la capacidad de distinguir con precisión los detalles de los elementos del entorno, además de que estas alteraciones no se generan solo en una zona en específico, sino que el constante ir y venir por zonas sin una iluminación uniforme (como las zonas del ambiente minero subterráneo) causa también una fatiga ocular, la cual puede desencadenar la reducción de la capacidad visual.

La iluminación deficiente no solo genera afectaciones visuales sino que también generan alteraciones a la estabilidad postural (Brooke et al. (2002) y lo cual es corroborado por Juslén & Tenner (2005) en donde sus investigaciones han arrojado que la estabilidad postural es alterada por la mala iluminación, en las cuales se les pidió a los individuos de prueba que se mantuvieran de pie en diferentes condiciones de iluminación, estas condiciones fueron iluminación normal de laboratorio (186 lx), iluminación moderada (10 lx), iluminación tenue (1 lx), ojos cerrados y con un patrón repetitivo proyectado en las paredes, en donde se demostró que el balanceo anteroposterior fue bastante mayor al estar de pie con los ojos cerrados que cualquier otra condición. También fue mayor en condiciones de iluminación ligera que con iluminación moderada o normal.

Del mismo modo la iluminación deficiente también incide en la salud del trabajador mediante las radiaciones que se emiten en las diferentes regiones del espectro óptico, ya que la capacidad de interacción de las radiaciones ópticas con el cuerpo humano depende de la cantidad de energía que se pueden transmitir a los tejidos biológicos y de la potencia radiante de la fuente , en donde a potencias mayores a las cuales los tejidos pueden interactuar normalmente se pueden generar efectos adversos en los glóbulos oculares y en la piel. Estos efectos malignos dependen de la capacidad de absorción de radiaciones de los tejidos que conforman los ojos y la piel (Escobar (2014), como se puede observar en la Tabla 9, en la cual se presentan las afectaciones de acuerdo a la cantidad de radiaciones ópticas recibidas en dichos tejidos, donde se puede evidenciar que los rangos de espectro luminoso superiores a los 300 nm generan quemaduras en las diferentes partes del ojo, en cuanto a espectros menores de 315 nm suponen enfermedades temporales que pueden llegar a convertirse en afecciones mayores con exposiciones prolongadas.

Tabla 9. *Efectos fisiológicos de las radiaciones ópticas*

		UV-B y C 200- 315 nm	UV-A- 315-400 nm	VISIBLE Riesgo Fotoquímico 300-700	VISIB LE Riesgo Térmico 300-700 nm	IR 780- 3000 nm
OJ OS	CÓRNEA	Queratitis , Conjuntivitis				

	CRISTALI NO		Cataratas Fotoquímicas			Catar ata Térmica
	RETINA			Lesión Fotoquímica	Lesión Térmica	
PIEL	Eritemas, Efectos cancerígenos		Lesión Térmica			

Fuente: Tomado de Prevención de riesgos laborales-U.D.3.11- Radiaciones Ópticas, s.f.

7.9. Accidentes causados por iluminación deficiente

La iluminación debe proporcionar a los trabajadores un ambiente seguro en el interior de la mina. Al respecto, es importante mencionar que, de acuerdo con datos de la Agencia Nacional de Minería ANM, en el año 2020 en Colombia de 134 emergencias, el 28.4% han sido generadas por desprendimiento de rocas, siendo la causa más alta de accidentabilidad como se observa en la Figura 64, mientras que en países como Chile esta cifra es de cerca del 36% para un número de 11 emergencias en el mismo año, como se observa en la Figura 65.

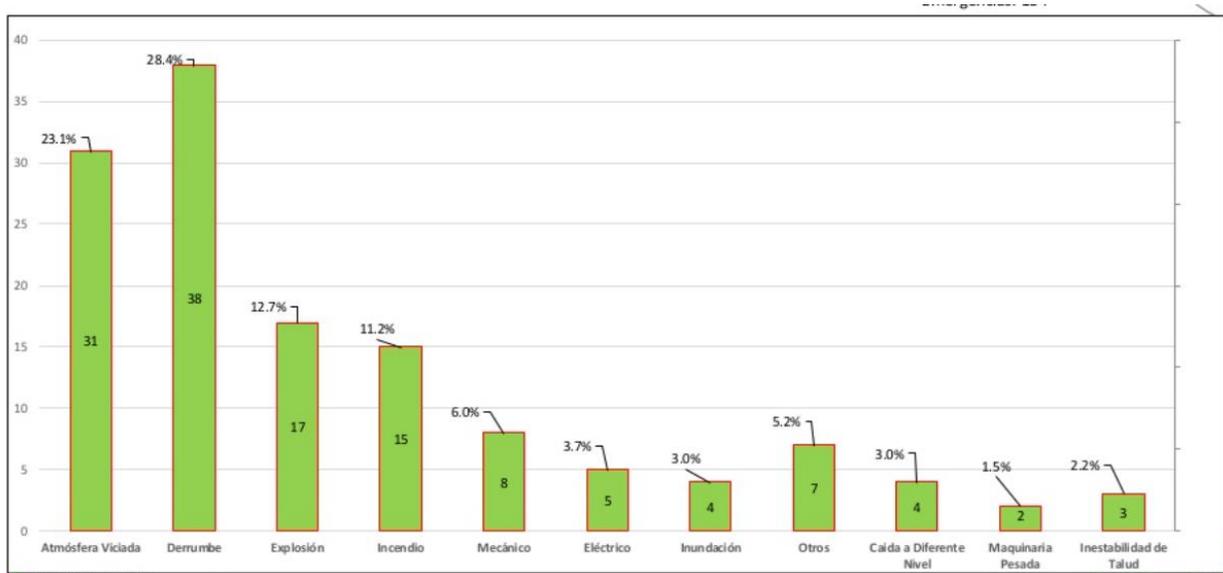


Figura 64. Causas de las emergencias mineras ocurridas en Colombia durante el Año 2020

Fuente: Tomado de la Agencia Nacional de Minería, 2020

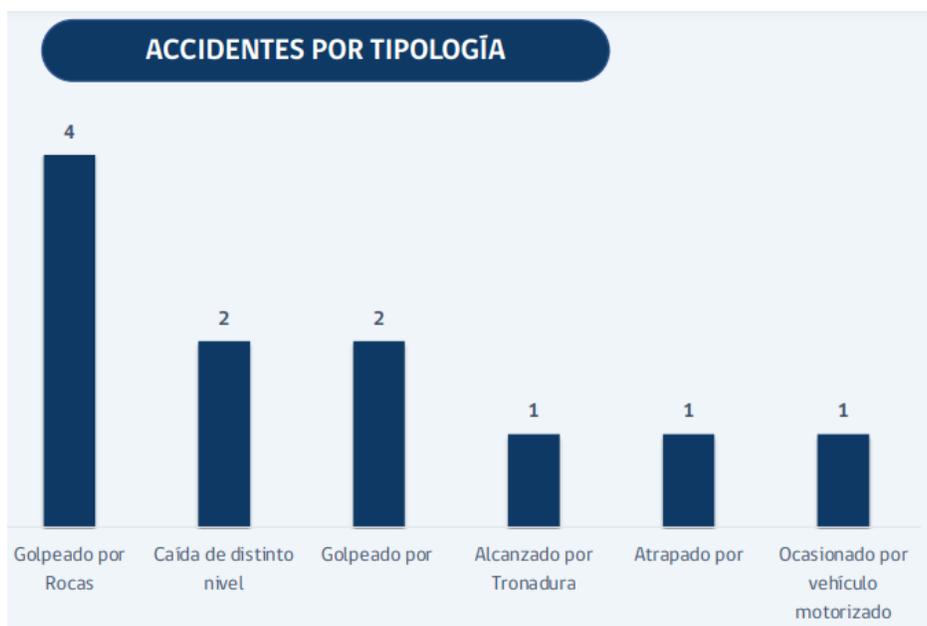


Figura 65. Estadísticas de accidentabilidad industria extractiva minera en Chile Año 2020

Fuente: Tomado del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2020

Estas tendencias en los dos países no son casuales solo para el año 2020, si tenemos en cuenta las estadísticas sobre accidentes y mortalidades para periodos más amplios, como describiremos a continuación.

En las Figuras 66, 67 y 68, tomadas de las estadísticas de la Agencia Nacional de Minería, se ilustran las emergencias y mortalidades que se presentaron en la industria minera en Colombia el periodo 2005-2020 y las causas asociadas a dichas emergencias y fatalidades.

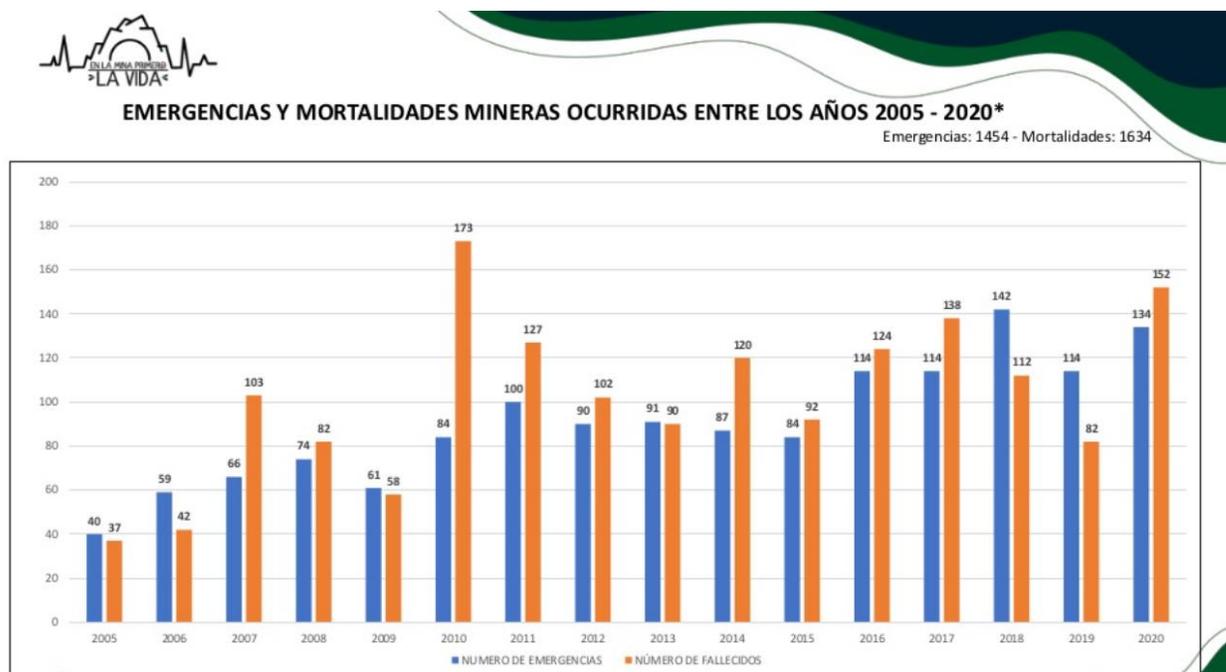


Figura 66. Emergencias y mortalidades mineras ocurridas en Colombia entre los Años 2005-2019

Fuente: Tomado de la Agencia Nacional de Minería, 2021



Figura 67. Causas de las emergencias mineras ocurridas en Colombia durante los años 2005-2019

Fuente: Tomado de la Agencia Nacional de Minería, 2021

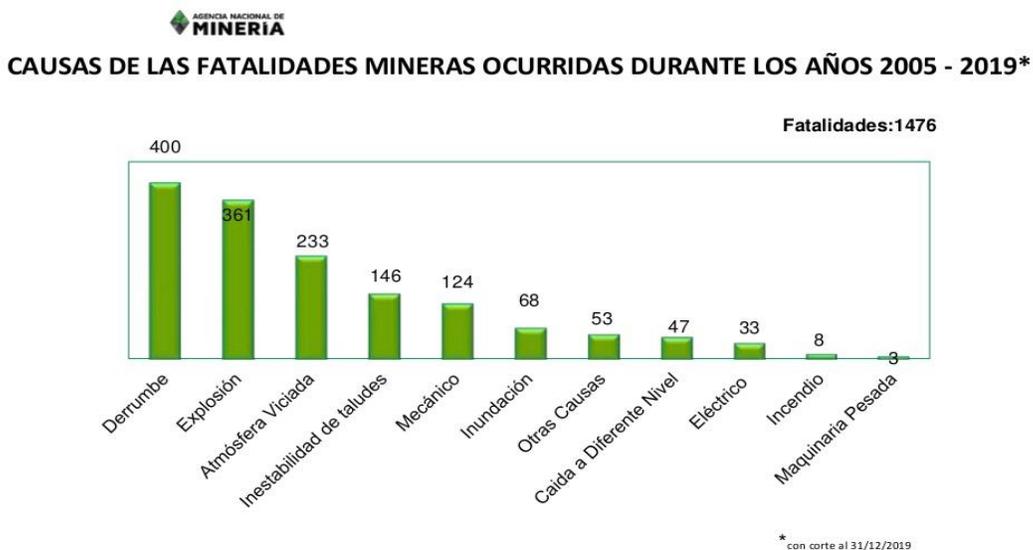


Figura 68. Causas de Las Fatalidades Mineras Ocurridas en Colombia Durante los años 2005-2019

Fuente: Tomado de la Agencia Nacional de Minería, 2021

Asimismo, en las Figuras 69 y 70, tomadas de las estadísticas del Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, se ilustran las emergencias y mortalidades que se presentaron en la industria minera en Chile en el periodo 2000-2017 y las causas asociadas a dichos accidentes.



Figura 69. Estadísticas de accidentabilidad minera en Chile en el Periodo 2000 - 2017

Fuente: Tomado de Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2017

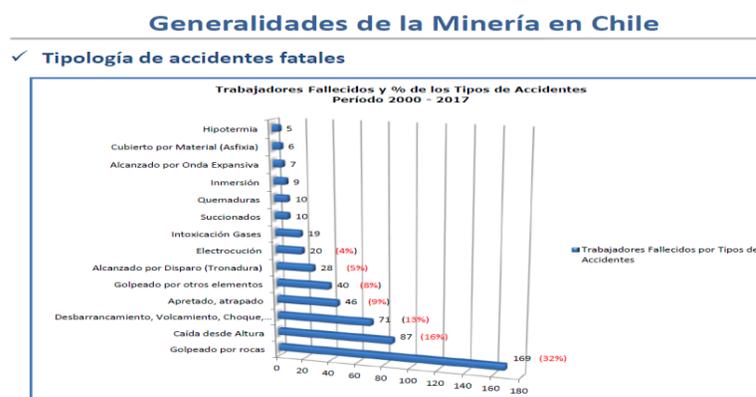


Figura 70. Tipología de accidentes fatales en Chile en el periodo 2000 - 2017

Fuente: Tomado de Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile, 2017

De los análisis estadísticos de las Figuras 66 a 79 se puede concluir que, tanto en la minería de Colombia como en la de Chile, en las dos últimas décadas la mayor causa de accidentes y fatalidades es generada por derrumbes y caídas de rocas.

Ahora bien, si, tal como se ilustra en la Figura 71, tenemos en cuenta que “Una buena iluminación permite efectuar una inspección visual correcta del lugar. Gracias a ella, puede observarse el techo, cajas y frente de la labor minera, detectando la existencia de fracturas y rocas sueltas, igualmente el color de las rocas y los lugares donde se procederá al desate de rocas respectivo”. (Seguridad Minera, 2012. P.1), con esto podemos entender porque muchos de los accidentes causados a los trabajadores por golpe de las rocas generadas en estos desprendimientos, tanto del techo como de los hastiales de las labores mineras, han sido atribuidos, en ambos países, a la deficiente iluminación de los frentes de trabajo, constituyéndose este factor en una causa asociada a dicho tipo de accidentes.

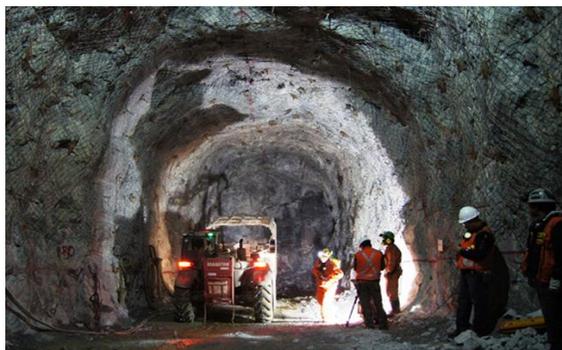


Figura 71. *Adecuada iluminación de un frente de trabajo en minería subterránea*

Fuente: Tomado de Seguridad Minera, 2012

De otra parte, el desempeño de un trabajo o una actividad es dependiente en cierta parte del entorno en el cual se lleve a cabo; dicho esto, se ha notado que unas condiciones inadecuadas de

iluminación en estos lugares, repercuten negativamente en factores de seguridad y salud de los trabajadores, debido a que estas pueden llegar a ocasionar un desgaste visual y una baja en la eficacia de la percepción del ojo humano en el sitio de trabajo, posibilitando la ocurrencia de errores que puedan incidir o provocar accidentes y afectar la eficiencia de la labor (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2015). Los accidentes que puede llegar a provocar pueden ser leves o de magnitudes significativas a la integridad del trabajador como puede llegar a ser las caídas por deslizamiento y más cuando las condiciones del puesto de trabajo o vías de transporte de personal presentan humedad y estos no se percatan de ello para caminar de una manera más firme y prudente ante la situación de riesgo.

La repercusión que trae consigo la iluminación deficiente en minería subterránea es un hecho, en donde la principal afectación a la integridad de los trabajadores que se le atribuye es la incidencia de peligros SFT siglas en inglés que se refieren a accidentes por causados por resbalones tropiezos y caídas; de acuerdo a esto, Mine Safety and Health Administration (MSHA) (2005) nos indica que los SFT corresponden a la segunda clase de accidentes más recurrentes, con lesiones que traen consigo horas laborales perdidas, sin llegar a ser mortales, alcanzando un registro de un 18.1% en minas subterráneas resultando en 149.002 días totales perdidos entre los años 2005 y 2009. Estos mismos investigadores en otro estudio para los años 2007–2011 indican que los resbalones, tropiezos y caídas son una de las clases de lesiones más importantes en las minas subterráneas.

Del mismo modo, (Amstrong & Menon (1998) plantean que la repercusión que trae consigo la iluminación deficiente en minería subterránea no ha sido debidamente investigada abarcada en

investigaciones de accidentes; los antecedentes que se puedan encontrar por este motivo son pocos y los que existen son puntuales al catalogarse como accidentes leves o incidentes, debido a que en la mayoría de estos se toma como factor principal otro tipo de riesgo sin tener en cuenta la participación de la luz como causal directa o indirecta .

Debido a la carencia de esta información los Investigadores de la NIOSH tomaron un nuevo punto de vista el cual se basa en la utilización de varias LED y ópticas especializadas, las cuales sirven para controlar la dirección del haz de luz para iluminar de una mejor manera los factores de peligros de SFT y los peligros generados por el desplazamiento de maquinaria; obteniéndose una mayor detección de los peligros en movimiento en el campo de visión periférica con un registro del 79%, junto con la optimización del 194% de la detección de los Peligros SFT (Reyes et al. (2011).

Estas investigaciones demuestran la importancia de una óptima iluminación en el desarrollo de las actividades debido a que esta tiene una incidencia en la generación de accidentes, especialmente por los peligros de SFT en los cuales una buena visibilidad humana es la mejor medida contra estos tipos de accidentes ya que aumenta el rendimiento visual para la detección y el reconocimiento de peligros de tropiezos (Merritt et al. (1983).

7.10. Legislación

La realización de una actividad en cualquier sector de la industria está sujeta a cumplir ciertos requerimientos impuestos por una entidad que regula las condiciones en las cuales se debe desempeñar dicho trabajo, para hacer valer los derechos del trabajador, pero también para hacer cumplir sus deberes y, de igual forma, para que el empleador cumpla con sus obligaciones.

Por lo anterior, se realizó la consulta y compilación de diversas normas de 15 países, con énfasis en la seguridad y salud en el trabajo y con enfoque a las actividades desarrolladas en minería subterránea.

7.10.1. Niveles de iluminación adecuados por labor o sitio de trabajo minero.

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación (Guasch, 1998), debido a esto los países con tradición minera van adoptando requerimientos específicos de seguridad en iluminación de minas, especialmente en las minas con gran presencia de gases explosivos (Amstrong & Menon, 1998, pag. 74.41), por lo cual estos requerimientos son plasmados en las normas de cada país. Teniendo esto en cuenta, se consultó sobre los niveles de iluminación en diferentes normativas nacionales e internacionales, para determinar y proponer cuáles son los valores en lux para desarrollar una actividad minera, debido a que en Colombia no se cuenta con ningún estándar para este tipo de trabajo.

- Normatividad Colombiana

Colombia en su normatividad de Seguridad e Higiene en Labores Mineras Subterráneas establecida en el Decreto 1886 del 2015, exige que cada lugar de trabajo cumpla con un nivel de iluminación óptimo para la adecuada ejecución y desarrollo de las labores mineras subterráneas, sin embargo, no establece cual es el valor mínimo recomendable para realizar estas actividades. De acuerdo a esto, se consultó en las demás regulaciones colombianas “Tabla 10 Normas

Colombianas (Iluminación)” información para obtener dicho valor, en donde se observó que existen valores establecidos para otras actividades de la industria y que se establecen otros valores según la exigencia visual de la actividad, siendo estas muy generales a lugares de trabajo comunes.

Tabla 10. Normas Colombianas (Iluminación)

Normas Colombianas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
Decreto 1886 de 2015, por el cual se aprueba el reglamento de seguridad en las labores mineras subterráneas	Minería Subterránea	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.
Resolución 90708 por la cual se expide el nuevo Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.	Instalaciones eléctricas en Colombia.	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.
Resolución 180540 del 2010, por la cual se modifica el reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP	Iluminación y alumbrado público en Colombia.	No define ningún nivel de iluminación en minería, pero sí de actividades de otros sectores de la industria.
Resolución 2400 de 1979, del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y	Trabajos que necesiten diferenciación de detalles extremadamente finos, con muy poco contraste y durante largos períodos de tiempo	1.000 a 2.000 lux

seguridad en los establecimientos de trabajo.	Diferenciación de detalles finos, con un grado regular de contraste y largos períodos de tiempo de	500 a 1.000 lux.
	Diferenciación no moderada de detalles la intensidad de iluminación será de	300 a 500 lux.
	Trabajos con poca diferenciación de detalles	150 a 250 lux
	Trabajos ocasionales que no requieren observación detallada	100 a 200 lux
	Zonas de almacenamiento, pasillos para circulación de personal, etc.	200 lux
	Garajes, reparación de vehículos	1.000 lux
	Cuartos para cambios de ropas	200 lux.
	Trabajo regular de oficina	1.500 lux.
	j) Corredores	200 lux
	k) Sanitarios	300 lux
	l) Bodegas	200 lux

Fuente. Adaptado de la Normatividad Colombiana

- Normatividad Mexicana

En comparación con la normatividad colombiana, México cuenta con estándares de iluminación específicos para el desarrollo de la actividad minera subterránea, aunque cabe recalcar la generalidad de estas “Tabla 11 Normas Mexicanas (Iluminación)”, estableciendo sólo dos niveles uno de 50 Lux como nivel mínimo requerido para labores mineras subterráneas en general y de 100 Lux para algunas zonas específicas dentro de las labores mineras.

Tabla 11. Normas Mexicanas (Iluminación).

Normas Mexicanas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
LEY MINERA, Última reforma publicada DOF 11-08-2014	Trabajos mineros	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.
REGLAMENTO DE LA LEY MINERA, Última Reforma DOF 31-10-2014	Trabajos mineros	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.
Manual de Servicios al Público en Materia Minera de 1999. Diario Oficial de la Federación	Trabajos mineros	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.
NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia	50 Lux

<p>NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo</p>	<p>Puntos de acceso a las naves de la torre de extracción de los tiros;</p>	<p>100 Lux</p>
	<p>Estaciones o ventanillas de los tiros;</p>	
	<p>Cuartos de malacates;</p>	
	<p>Unidad motriz de los transportadores para movimiento de materiales;</p>	
	<p>subestaciones eléctricas;</p>	
	<p>Estaciones de bombeo y tolvas generales de descarga, y</p>	
	<p>Otras instalaciones fijas que cuenten con maquinaria;</p>	

Fuente: Adaptado de la Normatividad Mexicana

- Normatividad Peruana

La normatividad peruana es una de las más completas a la hora de establecer niveles de iluminación para zonas mineras subterráneas a nivel de América Latina, además de establecer los niveles para actividades generales que pueden ser atribuidos a diferentes oficios que comprendan las áreas mencionadas en la Tabla 12. Normas Peruanas (Iluminación) según las exigencias visuales del entorno y trabajo.

Tabla 12. Normas Peruanas (Iluminación)

Normas Peruanas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
D.S. N° 023-2017-EM en modificación al Decreto Supremo N° 024-2016-EM	Lámparas de seguridad deben poder mantener una duración de carga de 12 horas, logrando a una distancia de 1.2m una intensidad de	2500 Lux
	Salas de máquinas, evitando uso de fluorescentes donde haya máquinas con movimiento rotatorio	200 Lux
	Los canales, zanjas, pozas, cochas, pasillos, gradas y vías de tránsito de trabajadores y materiales, los depósitos de relaves deben estar iluminados conforme a la evaluación IPERC.	300 Lux
	Las subestaciones eléctricas deben ubicarse fuera del eje de las galerías principales, en cruceros especialmente preparados para este fin, con puerta, candado, señalización de seguridad y avisos con intensidad luminosa de	300 Lux
	Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada máquina, salas que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste	150 Lux
	Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en funciones y trabajos similares	300 Lux
	Salas y paneles de control	300-500 Lux

	Trabajos con pocos contrastes, lectura continuada en tipo pequeño, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas y trabajos similares	500 Lux
	Revisión prolija de artículos, corte y trazado	1000 Lux
	Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste	1500-2000 Lux

Fuente: Adaptado de la Normatividad Peruana

- Normativa Española

Los requerimientos legales de este país son muy desarrollados en el campo de la iluminación en los puestos de trabajo, en donde los niveles de iluminación de cada trabajo son determinados según los requerimientos visuales de detalle que estos exijan, las cuales son establecidas en la “Tabla 13 Normas Españolas (Iluminación)”.

Tabla 13. Normas Españolas (Iluminación)

Normas Españolas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
UNE-EN- 12464-1 DEL 2003. Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores	Diferentes lugares de trabajo	No aplicable a minería subterránea
REAL DECRETO 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las	Bajas exigencias visuales	100 Lux
	Exigencias visuales moderadas	200 Lux

disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo	Exigencias visuales altas	500 Lux
	Exigencias visuales muy altas	1000 Lux
	Áreas o locales de uso ocasional	50 Lux
	Áreas o locales de uso habitual	100 Lux
	Vías de circulación de uso ocasional	25 Lux
	Vías de circulación de uso habitual	50 Lux
UNE-CR 14380 IN Aplicaciones de iluminación. Alumbrado en túneles	Alumbrado en túneles	No aplica a la minería subterránea.

Fuente: Adaptado de la Normatividad Española

- Normativa Argentina

Las normas argentinas establecen niveles de iluminación por dificultad visual y también por frecuencia de exposición en áreas o zonas de trabajo como puede observarse en la Tabla 14. Normas Argentinas (Iluminación), donde se aprecia que existen niveles de iluminación más elevados para tareas de mayor exigencia visual por dificultad en comparación a otras normativas, pero no supera la establecida por la normatividad chilena.

Tabla 14. Normas Argentinas (Iluminación)

Normas Argentinas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
Decreto 351/1979: Reglamentación de la Ley 19.587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo Anexo IV. Iluminación y color	Lugares de trabajo específicos, pero no en minería subterránea	No define un nivel de iluminación en específico para minería subterránea.
	Visión ocasional solamente	100 Lux
	Tareas intermitentes ordinarias y fáciles, con contrastes fuertes	100 a 300 Lux
	Tarea moderadamente crítica y prolongada, con detalles medianos.	300 a 750 Lux
	Tareas severas y prolongadas y de poco contraste	750 a 1500 Lux
	Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos o muy poco contraste	1500 a 3000 Lux
	Tareas excepcionales, difíciles o importantes	5000 a 10000 Lux
Decreto 249/2007: Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera	Bajas exigencias visuales	100 Lux
	Exigencias visuales moderadas	200 Lux
	Exigencias visuales altas	500 Lux

	Áreas o locales de uso ocasional	50 Lux
	Áreas o locales de uso habitual	100 Lux
	Vías de circulación de uso ocasional	25 Lux
	Vías de circulación de uso habitual	50 Lux

Fuente: Adaptado de la Normatividad Argentina

- Normativa Chilena

Las exigencias legales de este país no definen ningún nivel de iluminación en minería como se aprecia en la “Tabla 15 Normas Chilenas (Iluminación)”, pero sí establece los niveles en lux para los trabajos según las exigencias visuales de cada actividad, siendo bastante completa con respecto a esto último en comparación a las normativas de los otros países de Suramérica mencionados en el presente trabajo monográfico.

Tabla 15. Normas Chilenas (Iluminación)

Normas Chilenas (Iluminación)		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
Decreto N°132 del 2004, APRUEBA REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA,	Trabajos Mineros	No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.

<p>LEY-18248 de 1983 CODIGO DE MINERIA</p>	<p>Minería</p>	<p>No define ningún nivel de iluminación en minería, ni de zonas de trabajo en general.</p>
<p>DECRETO SUPREMO N° 594 "REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BÁSICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO"</p>	<p>Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada máquina o faena, salas donde se efectúen trabajos que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste.</p>	<p>150 Lux</p>
	<p>Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en fundiciones y trabajos similares.</p>	<p>300 Lux</p>
	<p>Trabajo con pocos contrastes, lectura continuada en tipo pequeño, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas, cajistas de imprenta, monotipias y trabajos similares.</p>	<p>500 Lux</p>
	<p>Laboratorios, salas de consulta y de procedimientos de diagnóstico y salas de esterilización.</p>	<p>500 a 700 Lux</p>
	<p>Costura y trabajo de aguja, revisión prolija de artículos, corte y trazado.</p>	<p>1000 Lux</p>
	<p>Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste, relojería, operaciones textiles sobre género oscuro y trabajos similares.</p>	<p>1500 a 2000 Lux</p>
	<p>Sillas dentales y mesas de autopsias.</p>	<p>5000 Lux</p>

	Mesa quirúrgica	20000 Lux
--	-----------------	-----------

Fuente: Adaptado de la Normatividad Chilena

- Normativa Internacional

La iluminación en las actividades mineras es un factor muy importante para el desarrollo de la misma, por ende, todos los países implementan diversos estándares para regular el bienestar de los trabajadores, como se puede ver en la Tabla 16 Resumen de los niveles de iluminación internacionales, en la cual se presentan la comparación de los diferentes niveles de iluminación de varios países en algunas zonas de la minería subterránea.

Tabla 16. *Resumen de los niveles de iluminación internacionales*

Resumen de los niveles de iluminación internacionales (Lux) ECSC 1990; MVS 1992; Piekorz 1997						
Región	Frentes	Lugares de Carga	Interior de maquinaria	Vías de Transporte	Guías y Niveles	Taller
Bélgica	20-50	20	25	10	-	-
Hungría	40-100	50-60	20-50	2-10	-	20-50
Canadá	21	-	-	21	53	-
Polonia	30	30	10	2-10	5-15	30

Inglaterra	70	30	-	2.5	-	50-100
Europa (carbón-Hierro)	40-90	10-80	-	5-15	10-30	-
Alemania del este	30-40	40	80	15	-	-
Czechoslovakia	15	20	20	5	-	-
Sudáfrica (Oro)	20-160	160		20		400

Fuente: Tomado de MISHRA, 2012, pag 14)

7.10.2. Certificación de elementos antiexplosión.

Las actividades mineras subterráneas son desarrolladas en un entorno en el cual no existe ningún haz de luz después de cierta distancia desde la entrada de las labores en superficie hasta el interior de la mina, es por esto que se necesita de un sistema de iluminación eficiente que cumpla con todas las exigencias visuales y los requisitos impuestos por la normatividad, debido a que este ambiente puede presentar gases explosivos como el metano en el caso de la minería subterránea de carbón, por lo cual se establece el uso obligatorio de equipos que estén certificados como anti-explosión; como lo exige el Decreto 1886 del 2015 en el artículo 211, en donde se prohíbe el uso de alumbrado convencional y que no sea a prueba de explosión. De

acuerdo a esto, también se requiere que dichos elementos deberán ser certificados del cumplimiento de normas de seguridad intrínseca y de protección de ingreso como el MSHA, la ANSI, la ATEX o semejantes.

De acuerdo a lo anterior, todos los elementos de un sistema de iluminación para minería deben contar principalmente con la Certificación Atex, la cual consiste en la protección de la maquinaria y equipos contra el riesgo de explosión (K. A. Schmersal GmbH (s.f.) y la cual se rige por dos directivas europeas, La Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de marzo de 1994, junto con La Directiva 1999/92/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999. Además de que la normativa de seguridad industrial o Directiva para Operadores 1999/92/CE divide los equipos y sistemas de protección contemplados en grupos y categorías, como se puede evidenciar en la Tabla 17.

Tabla 17. Zonas Atex

Material Inflamable	Zona (99/92/CE)	Grupo (94/9/CE)	Categoría (94/9/CE)
Metano, polvo	Minería	I	M1
	Minería	I	M2 o M1
Gases, vapores	Zona 0: La atmósfera explosiva está presente durante largos períodos o frecuentemente.	II	1G

	Zona 1: La atmósfera explosiva es probable que se produzca ocasionalmente en condiciones normales de explotación.	II	2G o 1G
	Zona 2: La atmósfera explosiva no es probable que se produzca en condiciones normales de explotación, pero, de producirse, permanece sólo un período breve.	II	3G o 2G o 1G
Polvos	Zona 20: La atmósfera explosiva está presente continuamente, durante períodos largos o frecuentemente.	II	1D
	Zona 21: La atmósfera explosiva es probable que se produzca ocasionalmente en condiciones normales de explotación.	II	2D o 1D
	Zona 22: La atmósfera explosiva no es probable que se produzca en condiciones normales de explotación, pero, de producirse, permanece sólo un período breve.	II	3D o 2D o 1D

Fuente: Tomado de K. A. Schmersal GmbH ,s.f.

Los grupos de la directiva Atex son semejantes en el sentido de que ambos deben garantizar una alta protección ante atmósferas potencialmente explosivas, sin embargo, el grupo I debe garantizar el funcionamiento continuo de los equipos eléctricos en todo momento, en cuanto al

grupo II hace necesario y posible el suprimir el paso eléctrico de energía cuando haya presencia de una zona potencialmente explosiva (K. A. Schmersal GmbH (s.f.)

Las categorías de la directiva Atex tienen clasificación dependiendo al tipo de material que origine el riesgo de explosión, expresándose de la manera que “M” es utilizada para ambientes mineros con presencia de metano, “G” ambientes con presencia de gases explosivos o inflamables y “D” para ambientes explosivos con presencia de polvos, los niveles del 1 al 3 especifican el grado de protección, siendo el “1” el que proporciona mayor seguridad (Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (1994).

7.10.3. Disposición de iluminación fija o estacionaria.

La reglamentación minera colombiana, establecida en el artículo 210 del decreto 1886 de 2015, dispone como de uso obligatorio las lámparas eléctricas de seguridad y en su párrafo establece que en vías y en los cruces de ellas, se puede utilizar alumbrado estacionario certificado con protección a prueba de explosión, identificado con el símbolo Ex. Además de que esta debe ser instalada en los lugares que presenten instalaciones en movimiento como se expresa en el artículo 214 de la misma norma, la cual debe estar debidamente protegida y certificada bajo los parámetros que dictamina el Código Eléctrico Colombiano.

7.10.4. Disposición de iluminación individual.

Por norma se establece que las lámparas de seguridad individuales deben ser usadas por toda persona que acceda a una labor minera subterránea, como se especifica en el artículo 209.

Alumbrado individual. del decreto 1886 del 2015, por el cual establece el Reglamento de

Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas, además de que estas deben estar numeradas con el fin de que cada trabajador regrese su lámpara al final de cada turno como se dictamina en el artículo 212 de este mismo decreto y lo cual también puede verse reflejado a nivel de legislación internacional como por ejemplo en la Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2003, “Trabajos en minas-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo en la sección 8. Plan de atención de emergencias”, junto con El Decreto Supremo de Perú D.S. N° 024-2016-EM y su modificación en el D.S. N° 023-2017 en el artículo 274 sección F, entre otras las cuales especifican el uso de este tipo de lámparas con obligatoriedad.

7.11. Factores determinantes de la Calidad de iluminación

Una buena iluminación es aquella que permite ver objetos, tamaños, formas, colores y distancias sin desgastar o forzar la vista, generando un ambiente de confort el cual cuente con una distribución de luz uniforme, con buenos niveles de iluminación, control de los deslumbramientos, sombras y colores, modelado, propiedades de color adecuadas y una ergonomía de puesto de trabajo, por lo cual es de suma importancia tener en cuenta estos factores para implementar en los diseños de sistemas de iluminación que garanticen los requerimientos visuales del lugar de trabajo.

7.11.1. Iluminancia y uniformidad

La iluminación o el nivel de luz es de suma importancia para una óptima iluminación, ya que esta es la que determina la visibilidad de la tarea y, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación, (2001), afecta:

- La agudeza visual
- La sensibilidad de contraste o capacidad de discriminar diferencias de luminancia y color
- La eficiencia de acomodación o eficiencia de enfoque sobre las tareas a diferentes distancias

(pág. 23)

Además de que, dependiendo de la cantidad del flujo luminoso que se obtenga, se mejorará el rendimiento visual, hasta un nivel recomendado, ya que, si se produce un aumento excesivo, se generan deslumbramientos. Con el objeto de mantener una iluminación eficiente se requiere que el haz de luz sea distribuido uniformemente, lo cual se realiza mediante los diferentes elementos de las luminarias.

7.11.2. Control del deslumbramiento

La molestia visual o deslumbramiento producido por las lámparas debe ser controlado para evitar afectaciones a la salud de la persona y reducir su rendimiento cuando desempeña sus actividades; por lo cual se deberá de mantener los niveles de iluminación entre los rangos límites permisibles (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación, (2001), además que se deberá contar con un diseño del sistema de iluminación que evite la generación del deslumbramiento, distribuyendo las luminarias de una manera óptima y

utilizando los elementos correspondientes para realizar el control del haz de luz, como lo son los dispositivos de apantallamiento,

7.11.3. Modelado y sombras

La capacidad del alumbrado para revelar forma y textura, a través de la incidencia de una luz sobre otra es llamada modelado (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001), además que permite visualizar mejor las formas y los objetos, si se cuenta con los niveles adecuados de iluminación o, por el contrario, si la iluminancia está fuera de los rangos establecidos, se produce una pérdida de los rasgos que caracterizan a los objetos.

7.11.4. Propiedades de color

Los colores del entorno en donde una persona desarrolle cualquier actividad, pueden influir en su rendimiento y es seguro que tiene algún efecto sobre el grado de satisfacción visual experimentado; El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001) establece que se deben tener en cuenta las siguientes propiedades cromáticas de los elementos generadores de luz para poder controlar este parámetro de una forma eficiente:

1. La apariencia de color de una fuente de luz ó Temperatura de Color (K), es la impresión de color recibida cuando miramos a la propia luz.
2. El rendimiento en color de la fuente de luz, es la capacidad de la luz para reproducir con fidelidad los colores de los objetos que ilumina. (pag. 27)

Donde se toma en cuenta el color que desprende el espectro luminoso de la lámpara utilizada, como se observa en la Tabla 18, en la cual se puede apreciar la temperatura que cada tipo de lámpara puede emitir.

Tabla 18. *Parámetros Recomendados Para La Selección De Lámparas Según Criterio De Color*

Índice de reproducción cromática, (Ra)	Grupo de Rendimiento de Color	Cálido < 3300K	Neutro 3300-5000K	Frio >5000K
Excelente 90-100	1 A	Halógenas, Fluorescencia lineal y compacta.	Fluorescencia lineal y compacta	Fluorescencia lineal y compacta
Bueno 80-90	2 A	Fluorescencia lineal y compacta. Sodio blanco	Fluorescencia lineal y compacta. Halogenuros e inducción.	-
Razonable 70-80	1 B	Halogenuros metálicos	Halogenuros metálicos.	Halogenuros metálicos.
Mala <70	2 B	Mercurio. Sodio	Mercurio	

Fuente: Tomado del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité

Español de Iluminación, 2001.

De igual forma, se debe considerar los colores del entorno, como se dijo anteriormente, el cual puede desprender una temperatura por el tono de color como se puede visualizar en la Tabla 19.

Tabla 19. *Temperatura desprendida de acuerdo al tono de color*

Tono de Luz. Temperatura de color	Tipo de actividad o iluminación
Tonos cálidos <3000k	Entornos decorados con tonos claros Áreas de descanso. Salas de espera. Oficinas tipo Reunión. Oficinas tipo celda. Zonas con usuarios de avanzada edad. Áreas de esparcimiento. Bajos niveles de iluminación.
Tonos neutros. 3300-5000k	Lugares con importante aportación de luz natural. Tareas visuales de requisitos medios. Oficinas tipo colmena. Oficinas tipo celda.
Tonos Fríos >5000K	Entornos decorados con tonos fríos. Altos niveles de iluminación. Para enfatizar la impresión técnica. Tareas visuales de alta concentración.

Fuente: Tomado del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité

Español de Iluminación, 2001.

7.11.5. Ergonomía del puesto de trabajo

La ergonomía según Laurig & Vedder, (1998) significa literalmente “el estudio o la medida del trabajo”(Pág.29.2) en donde la iluminación es un factor de mucha relevancia debido a que las personas se basan en la vista para el desarrollo de sus actividades, especialmente las del trabajo; por lo cual el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía & Comité Español de Iluminación (2001) desde un punto de vista ergonómico dispone que el alumbrado debe satisfacer los siguientes aspectos para obtener un confort en el puesto de trabajo:

1. No debe crear problemas de adaptación visual.
2. Debe proveer la agudeza visual adecuada.
3. Debe proveer a la tarea visual de un rendimiento y satisfacción visual.
4. Debe limitar la producción de ruido.
5. Debe eliminar el efecto estroboscópico. El cual se basa en una iluminación por destellos en la que el objeto a iluminar se mueve de forma rápida y periódica generando una afectación de cansancio a la vista.
6. Debe generar al recinto iluminado poca carga térmica. (pag. 28)

7.12. Ventajas de un sistema de iluminación eficiente

Un sistema de iluminación eficiente es aquel que genera un confort visual al individuo, garantizando un nivel de iluminación acorde a las exigencias visuales de la actividad a desarrollar, además que permite distribuir el haz de luz de una manera controlada, evitando

cualquier tipo de deslumbramiento. De acuerdo a esto, un lugar de trabajo que cuente con esta característica obtendrá las siguientes ventajas:

- Una óptima iluminación facilita la realización de todas las tareas laborales tanto en el entorno industrial como en el de oficina, ya que el 85% de la información recibida por el ser humano es a través de su visión, por lo cual contar con una buena iluminación, que no produzca reflejos ni sombras pueden reducir la fatiga visual y los dolores de cabeza, permitiendo la ejecución de las actividades de una manera sencilla (Canadian Centre for Occupational Health and Safety (2019), además de que esta iluminación minimiza la generación de incidentes y lesiones por "ceguera momentánea" (visión momentánea de campo bajo debido a que los ojos se ajustan de un entorno más brillante a más oscuro, o viceversa).
- La detección visual es de suma importancia ya que los resultados de varias investigaciones han arrojado que las reacciones a las señales visuales son más veloces que las auditivas (Lee & Chan (2007), debido a esto la calidad y cantidad de iluminación son factores de importancia para que los trabajadores, incluyendo a los mineros puedan realizar sus trabajos de una manera segura a través de una percepción más eficaz, reduciendo los índices de accidentabilidad.
- Una buena iluminación en el lugar de trabajo genera un incremento de la moral o bienestar, además de que genera una disminución en el esfuerzo visual del ojo, logrando una reducción de la tensión nerviosa (Obregón & Márquez (2018) obteniendo un

ambiente confortable para el trabajador sin producir alguna fatiga y más aún en jornadas de trabajo de 8 horas que son las más comunes en la industria.

- Según la International Labour Organization (s.f.) en el Manual de la OIT, “Mejora de las condiciones de trabajo y la productividad en la industria de la confección” (Pag. 1) se demostró que una iluminación adecuada mejora la productividad en un 10% además de aportar una reducción del 30% en los errores, lo cual se vería reflejado como un aporte a la disminución de causales de accidentes de trabajo por errores humanos.

- La iluminación que se realice tiene influencia en el desempeño de las personas que desarrollen alguna actividad en un lugar de trabajo industrial a través de diez mecanismos en los cuales entra el desempeño visual, el confort visual, las relaciones interpersonales, la satisfacción laboral y la resolución de problemas (Juslén & Tenner (2005), es así como un óptimo sistema de iluminación en minería favorece al aumento de los índices mencionados, siendo directamente proporcional hasta un límite claro en el cual no llegue a ser contraproducente a la productividad de las labores que se desempeñen

- Un sistema de iluminación eficiente permite una buena visualización del entorno que rodea al trabajador, por lo cual permite la reducción de accidentes, como los SFT que se presentan en minería subterránea, debido a la detección de los factores de riesgo que originan estos accidentes (Daly (2001). De esta manera representa también un bienestar a la salud mental, debido a la posibilidad de afianzar la confianza del trabajador, a medida

que estos sean reducidos, ya que supondrán un riesgo menos del cual el trabajador deba estar preparado para afrontar, implicando una reducción del estrés laboral.

- Los niveles de iluminación para un lugar de trabajo junto con el contraste y la ausencia de deslumbramientos son resultado de un sistema de iluminación eficiente el cual contribuye al bienestar del individuo (Rodríguez (s.f.). De manera que protege la integridad física actual del trabajador además de una presunta complicación médica a futuro por continuidad de exposición a estos esfuerzos visuales, como puede llegar a ser el caso de patologías oculares.

7.13. Medidas de prevención y control

7.13.1. Medidas de prevención y control en la fuente

- Gestión de todos los recursos para el diseño óptimo del sistema de iluminación, el cual tome todos los aspectos del ambiente minero subterráneo para reducir los niveles de probabilidad de sufrir un accidente por el riesgo físico debido a una iluminación deficiente.
- Identificación de lugares o zonas en las cuales se genere riesgo alguno por falta de iluminación o que requieran de niveles altos de flujo luminoso para el desarrollo de la actividad que se desee realizar.
- Identificación de niveles de flujo luminoso requeridos para las distintas actividades a desempeñar en el interior de una mina y determinar los requerimientos de instalación de luminarias de tipo estacionaria o fija.

- Diseño de un plan de mantenimiento que permita llevar un registro de las condiciones de todos los elementos que conforman el sistema de iluminación.

7.13.2. Medidas de prevención y control en el medio

- Ejecutar el plan de mantenimiento diseñado para el sistema de iluminación, garantizando una revisión completa y una corrección de las posibles deficiencias de funcionamiento de cada elemento que conformen el sistema, asegurando a su vez una eficiencia energética
- Instalación de luminarias en zonas con exigencias visuales elevadas, como cruces de vías o lugares de tránsito de coches y/o maquinaria pesada, que garanticen flujos luminosos requeridos con elementos de luminaria adecuados para una disposición del flujo luminoso eficiente que no genere deslumbramientos o sombras
- Realizar mediciones periódicas de los niveles de iluminación en las zonas de trabajo mediante equipos de medición como luxómetros los cuales deben estar debidamente calibrados y en condiciones óptimas.
- Evitar y eliminar los deslumbramientos directos utilizando luminarias que controlen la distribución del haz de luz, además de suprimir los indirectos producidos por superficies o elementos reflectantes situados en la zona de operación o sus proximidades.
- Adquisición e instalación de bombillas, fluorescentes, led, lámparas de bajo consumo, entre otras, que cuenten con la certificación antiexplosión y cumplan con todos los requerimientos que la normatividad exige para este tipo de trabajo.

- Implementar un expediente con hojas de vida de cada lámpara estacionaria donde se lleve un registro para poder monitorear su tiempo de vida, deficiencias y daños, que también sirva como comparativa entre los distintos tipos de bombilla para reemplazar las menos eficientes una vez finalice su tiempo de vida, por las que generen mayores rendimientos a menor costo.
- Implementar un expediente con hojas de vida de cada lámpara individual donde se lleve un registro para poder monitorear su tiempo de vida, deficiencias y daños, donde se plasmen tiempos de duración de carga, cuando esta sea inferior a la duración estándar se deberá realizar mantenimiento, de no poderse corregir el desperfecto, estas lámparas serán señalizadas y apartadas del resto, de manera que sirvan para recorridos cortos o como lámparas de respaldo.
- Reparar de inmediato los puntos de luz que presenten desperfectos y estén estropeados, de igual forma limpiar y sustituir las fuentes luminosas de una forma planificada, teniendo en cuenta su duración (una bombilla suele tener una duración media de 1.000 a 5000 horas, dependiendo del tipo de bombilla) y su rendimiento, si se quiere mantener el nivel de iluminación original, ya que la cantidad de luz emitida disminuye al aumentar la edad del equipo debido al desgaste de las fuentes luminosas y a la suciedad.
- Para complementar el factor de mantenimiento del sistema de iluminación, se deberá realizar inspecciones periódicas de las condiciones del sistema, efectuando limpieza general de luminarias, mantenimiento y/o reposición de estas.

- Dotar de lámparas de seguridad individuales de repuesto cerca a los lugares de trabajo.
- Para minería del carbón, las secciones de zonas de evacuación y zonas de riesgo donde existan equipos eléctricos, se deberán inertizar con polvo de caliza malla 400 con un contenido de sílice menor del 3% (para evitar problemas respiratorios) de manera que, además de servir para evitar la generación de una posible explosión por polvo de carbón, sirvan para aumentar el reflejo de luz, logrando un efecto de claridad en dichas secciones.

7.13.3. Medidas de prevención y control en el trabajador

- Dotar de lámparas de seguridad individual a cada trabajador y persona externa que tenga acceso al interior de la operación minera subterránea, como se establece en la normatividad minera de Colombia.
- Dotar al personal que ingrese a labores subterráneas de cascos con portalámparas de manera que faciliten su manipulación y evitar que sufra golpes y/o que estén expuestos a rayado que genera opacidad en el lente
- Capacitar a los trabajadores mineros y a toda persona que ingrese al interior de una operación minera sobre el factor de riesgo físico por iluminación, ya sea por deficiencia o por deslumbramiento,
- Capacitar a los trabajadores mineros y a toda persona que ingrese al interior de una operación minera del uso básico de la lámpara de seguridad, evaluar y verificar el

estado de estas, antes del ingreso a la labor minera, para garantizar que se encuentren en condiciones óptimas de uso. En estas capacitaciones se deberá hacer énfasis en:

- Revisar los lentes de protección, limpiando el acrílico que la conforma; de encontrarse sucio, si existe rayado u opacidad, deberá ser cambiado
- Revisar la cantidad de flujo luminoso, de ser notablemente bajo se deberá pedir una lámpara de respaldo. Se deberá inspeccionar la lámpara deficiente para comprobar si su falla es producto de una mala carga de batería o un desgaste de la vida útil de la misma.
- Revisar integridad del cabezote, batería y cable de manera que estos no estén vencidos y comprometan su función; se deberá pedir lámpara de respaldo de ser necesario
- Realizar vigilancia epidemiológica a los trabajadores mineros mediante exámenes de control periódicos, para detectar los problemas o deficiencias visuales, y para comprobar la incidencia que pueda tener las fallas en el sistema de iluminación en los diferentes frentes de trabajo en las afecciones de la capacidad visual de los trabajadores.

8. Planilla de evaluación recomendada para lámparas de los sistemas de iluminación mineros subterráneos.

La planilla de evaluación de las lámparas de los sistemas de iluminación se crea con el objetivo de complementar las medidas de prevención y control, y además generar un análisis y

una retroalimentación del funcionamiento actual del sistema, permitiendo realizar una corrección de acuerdo a las necesidades que sean identificadas a través de la aplicación de esta misma.

8.1. Descripción del funcionamiento del sistema de iluminación de acuerdo a la calificación de la planilla de evaluación.

La planilla de evaluación de las lámparas que se puede observar en el **ANEXO I**, es un aporte que complementa las medidas de prevención y control al momento de realizar las supervisiones del sistema de iluminación, la cual se basa en una lista de chequeo que verifica las condiciones físicas y de funcionamiento de la fuente luminosa, las cuales se toman con base en el criterio del evaluador y con ayuda de un equipo medidor de la luminancia (Luxómetro), esta se llevará a cabo de una manera cualitativa y cuantitativa al asignarle un valor representativo a cada condición; en donde este valor asignado representará el estado actual de dicha lámpara y que al examinarse todas en conjunto, a través un análisis tabular de los resultados individuales se verificará el estado del sistema de iluminación en general.

El resultado cuantitativo de la evaluación arroja una valoración numérica de 1 a 32 para las lámparas estacionarias, en donde a menor valor las condiciones de las lámparas serán mejores y que de acuerdo a este valor, la fuente de luz será clasificada en 4 grupos, como se puede observar en la Tabla 20, en la que se establece esta valoración y su respectiva descripción cualitativa. De igual forma, el resultado de la evaluación a las lámparas de seguridad individual arroja ambas valoraciones, pero en este caso será de 1 a 28, como se puede observar en la Tabla 21, ya que estas cuentan con menos elementos para inspeccionar.

Tabla 20. Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Estacionarias

Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Estacionarias				
Grupo	I Excelentes	II Buenas	III Intermedias- Malas	IV Malas
Valoración Cuantitativa	1 a 8	9 a 16	17 a 24	25 a 32
Valoración Cualitativa	La lámpara examinada se encuentra en óptimas condiciones, en donde no se requiere ninguna intervención o corrección.	La lámpara se encuentra en buenas condiciones, pero se requieren de algunos ajustes para su óptimo funcionamiento	El estado actual de la lámpara es casi aceptable, aunque se deben realizar las correcciones más urgentes, como lo son el cambio de bombillas por rotura, fisurado o mantenimiento de la lámpara.	La fuente generadora de luz se encuentra en condiciones bastantes deplorables, por lo que se debe realizar el cambio inmediato de la luminaria o la reparación inmediata de todas las averías encontradas.

Fuente: Realizado por los Autores

Tabla 21. Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Individuales

Descripción del Funcionamiento de las Lámparas Individuales				
Grupo	I Excelentes	II Buenas	III Malas- Intermedias	IV Malas Condiciones

Valoración Cuantitativa	1 a 7	8 a 14	15 a 21	22 a 28
Valoración Cualitativa	La lámpara examinada se encuentra en óptimas condiciones, por lo que no se requiere ninguna intervención o corrección.	La lámpara se encuentra en buenas condiciones, pero se requieren de algunos ajustes para su óptimo funcionamiento en caso de presentar: rayado, un fisurado o una rotura que afecta en gran medida la emisión del flujo luminoso, o que, de otra parte, presente afectaciones considerables en la batería o en el cable que imposibilite su uso eficiente.	La lámpara evaluada se encuentra en malas condiciones intermedias, por lo que su uso es restringido solo para lapsos de tiempos cortos; sin embargo, para ser utilizadas en un turno completo, se requiere realizar el cambio de lámpara al trabajador.	La lámpara individual debe ser cambiada inmediatamente ya que su uso no solo representa una iluminación nula, sino que es un factor de riesgo físico, eléctrico y una posible fuente iniciadora de una explosión de gas metano o polvo de carbón en suspensión.

Fuente: Realizado Por los Autores

De acuerdo a las puntuaciones obtenidas de cada lámpara según la planilla de evaluación correspondiente y a su clasificación en los 4 grupos, según su funcionamiento por dicha valoración, el análisis del sistema de iluminación se realizará mediante la examinación en conjunto de los resultados obtenidos de cada lámpara, como se puede observar en la Tabla 22, en donde se consignaron los resultados de una posible evaluación mediante el uso de la planilla para lámparas estacionarias

Tabla 22. Resultados de una posible evaluación de las lámparas estacionarias

Lámparas Estacionarias		
Grupo	Numero de lámparas	%
Grupo I	50	51
Grupo II	30	31

Grupo III	15	15
Grupo IV	3	3
Total	98	100

Fuente: Realizado Por los Autores

Estos datos se pueden graficar mediante de un diagrama de columnas, de barras, circular , radial, u otro que el evaluador tome según su criterio, de tal forma que permitan agrupar la información para su posterior análisis, como se puede observar en el diagrama circular de la Figura 72, de la cual se puede concluir que el 51% de las lámparas estacionarias del sistema de iluminación están funcionando en excelentes condiciones, el 31% en buenas condiciones, las cuales pueden seguir siendo usadas pero con algunas recomendaciones, mientras que las lámparas que clasificaron en los grupos III y IV con unos porcentajes de 15% y 3% deben ser reparadas o sustituidas, según las observaciones individuales que se les tomaron a cada una.



Figura 72. Representación Gráfica de una Posible evaluación de lámparas estacionarias

Fuente: Generado por Microsoft Word

8.2. Medidas de corrección recomendadas de acuerdo a la valoración crítica de las lámparas del sistema de iluminación

Las medidas de corrección serán específicas y generales dependiendo de la respuesta de evaluación de cada característica, estas serán establecidas por agrupaciones entre columnas (A, B...) y filas (1,2...) y varias combinaciones de estas pueden tener una posible medida de corrección en común.

Medidas de corrección para lámparas estacionarias

- A1, B1, C1, D1, E1, F1, G1, H1, No necesitan ninguna corrección ya que las condiciones físicas y de funcionamiento son óptimas

- A3, A4 Cambio del armazón de la luminaria
 - B2. Pulir vidrio de recubrimiento anti explosión
 - B3, B4. Reemplazar de manera oportuna el vidrio de recubrimiento anti explosión
 - C2, C3, C4. Desmontar y limpiar las piezas del armazón, retirar en primera instancia el polvo y proseguir con una aplicación de varsol, retirándolo a medida que la imperfección sea removida
- D2, D3. Ajustar los puntos de anclaje de la luminaria, reemplazar tornillos y tuercas aisladas, o de encontrarse despegado de la base misma de la lámpara, aplicar un adherente industrial.
 - D4. Reemplazar la base de la luminaria y/o instalarla nuevamente con nuevos puntos de anclaje o fijación.
 - E1, E2, E3, E4. Dependientemente del estado de las demás características de las lámparas, se establecerá un tiempo de revisión y mantenimiento, el cual deberá rondar entre tiempos menores a 1 mes para lámparas defectuosas y hasta 1 año para lámparas que mantengan óptimas condiciones, estas determinaciones se establecerán por los resultados arrojados en la actual planilla de evaluación.
 - F2, G2, F3, G3. Debe de realizarse una inspección de la bombilla, si el motivo de su deficiencia no es corregible por limpieza, deberá de desecharse y ser reemplazada por otra, es necesario una revisión y un mantenimiento eléctrico de la base de la luminaria para corregir el daño y evitar el desgaste de la vida útil de las bombillas que reemplacen la averiada
 - F4, G4, H4. Debido al bajo costo que supone una bombilla deberá de desecharse y reemplazarse por una nueva, ya que la reparación de esta es demasiado compleja y en la mayoría de casos ineficaz, sin embargo, debe de realizarse una revisión y posible mantenimiento de la base de conexión, para descartar su influencia en el daño de la bombilla y evitar que vuelva a presentarse otro daño.

- H2. El flujo luminoso de la bombilla es inadecuado, esta deberá ser reemplazada por una más acorde a las condiciones del sitio de trabajo en donde esté instalada, **ver anexo 2.**
- H3, H4. El flujo luminoso que genera la bombilla ha sido reducido por condiciones desfavorables del sistema por lo que se realizará un mantenimiento general, de no ser este el causante, se determinará que la eficiencia del bombillo ha sido desgastada o afectada y que esté deberá ser reemplazado si el flujo luminoso es mucho menor al requerido, **ver anexo 2.**

Medidas de corrección para lámparas individuales

- I1, J1, K1, L1, M1, N1, O1. No necesitan ninguna corrección ya que las condiciones físicas y de funcionamiento son óptimas.
- I3, I4. Cambiar el armazón de la lámpara individual, ya sea por uno nuevo o alguna lámpara que haya presentado averías de batería o de bombilla pero que su recubrimiento esté en buenas condiciones
- J2. dependiendo del nivel de rayado del acrílico de la lámpara, este no será reemplazado a no ser que reduzca de manera significativa el flujo luminoso que deberá expedir la lámpara.
- J2, J3, J4. para acrílicos o cristales muy rayados o con condiciones de fisura. partidura, deben de reemplazarse por un acrílico ya sea nuevo o de alguna lámpara dañada de la cual puedan tomarse piezas de repuesto en buen estado.
- K2, K3, No es una característica que implique una corrección inmediata ya que su repercusión a la salud no es visual, sino más bien afecciones de tipo infecciosas, sin embargo, la limpieza de estas debe ser responsabilidad de la persona a la cual le es asignada para su uso, por lo que deben de ser instruidos durante capacitaciones de que deberán de que cada individuo será responsable de la limpieza de la misma.

- L2 se deberá ajustar el portalámparas, sin embargo, bajo ningún motivo este deberá ser anclado al casco de seguridad a través de una perforación de este, ya que reduciría la efectividad del mismo
- L3, L4. Se deberá mandar a instalar portalámparas en algún lugar certificado donde no incumplan lo mencionado en el anterior inciso, o adquirir cascos de seguridad que tengan el portalámparas incorporado desde fábrica.
- M2, M3. El recubrimiento debe ser cambiado por piezas de repuesto de lámparas sacadas de circulación, pero con partes en buen estado.
- M4. El cable deberá ser reemplazado en su totalidad por algún cable en buen estado ya sea nuevo o por piezas de repuesto
- N3. A los trabajadores mineros se les debe entregar una lámpara nueva en este caso y a la lámpara con deficiencia de carga se le realizará mantenimiento a la batería y finalmente se dispondrá para visitas de personal no mayores a la duración de carga que pueda mantener, o como lámparas de repuesto en puestos de trabajo cercanos a superficie.
- N4. Además de entregar una lámpara nueva, la lámpara defectuosa se dispondrá como piezas de repuesto para mantenimiento de otras en buen estado de batería
- O3. Implica una revisión y un mantenimiento de la bombilla, contactos, cable y en últimas instancias una verificación de la capacidad de carga de la batería, de no encontrarse una solución o arreglo, estas lámparas se dispondrán para su uso en lapsos de tiempo no superiores a 2 o 4 horas.
- O4. Mantenimiento completo de la lámpara, de no encontrarse arreglo se deberá disponer para piezas de repuesto

Conclusiones

- Los sistemas de iluminación pueden representar una ventaja significativa en la disminución de la cantidad de errores que se puedan llegar a cometer en labores mineras subterráneas debido a que le aportan al trabajador un conocimiento más detallado del entorno que le rodea, repercutiendo en la disminución de incidentes y accidentes de trabajo atribuidos al factor de iluminación deficiente a la vez que permite alcanzar mayores rendimientos en productividad.
- La implementación de un adecuado sistema de iluminación en minería subterránea incide en el mejoramiento de los índices de seguridad y salud en el trabajo, facilitando la identificación de condiciones inseguras que posibilite la reducción de accidentes producidos por dichos factores de riesgo, además de evitar la generación de enfermedades laborales generadas por condiciones de iluminación deficiente dentro de labores subterráneas.
- La incidencia de la iluminación deficiente sobre la seguridad y salud de los trabajadores se evidencia en la generación de enfermedades laborales que afectan la visión, o en efectos de insatisfacción en el trabajador expuesto a iluminación inadecuada, además de influir en el desarrollo de accidentes como los SFT en los cuales es identificado como el principal causante, como también dentro de cualquier otra tipología de accidente de trabajo siendo un factor secundario de causalidad, debido a que no permite una óptima

visualización del entorno de trabajo al momento de realizar la identificación temprana de peligros.

- En la industria minera de Colombia y de países con un nivel técnico más desarrollado, como Chile, muchos de los accidentes causados a los trabajadores por golpe de las rocas generadas en desprendimientos, tanto del techo como de los hastiales de las labores mineras subterráneas, han sido atribuidos a la deficiente iluminación de los frentes de trabajo, dado que limita la adecuada observación del techo, cajas y frente de la labor minera para detectar la existencia de fracturas y rocas sueltas, igualmente el color de las rocas y los lugares donde se debe proceder a realizar el respectivo desate o desabome de rocas, constituyéndose el factor iluminación deficiente en una causa asociada a dicho tipo de accidentes.
- La normativa actual colombiana no define niveles de flujo luminoso específicos para el ámbito minero, sin embargo, existen normativas del sector del trabajo que establecen niveles de flujo luminoso según exigencias visuales, tiempos de exposición y zonas de trabajo, por lo cual se hace necesario profundizar en investigación acerca de este tema, para mejorar las condiciones del trabajador minero mediante disposiciones legales.
- La normativa internacional se encuentra más desarrollada en el ámbito de la iluminación, logrando establecer rangos de flujo luminoso tanto para actividades que conforman la actividad minera, como para trabajos según sus exigencias visuales.
- No todas las actividades requieren de un mismo nivel de flujo luminoso y debido a que los estándares y normativas nacionales no son tan específicas, para la implementación de

un sistema óptimo de iluminación en minería subterránea las empresas podrían implementar estándares más completos de procedencias extranjeras, sin importar que los requerimientos legales sean superados y siempre y cuando estos lo sean, con la finalidad de alcanzar un bienestar general del personal, que a la vez podría repercutir en mejores rendimientos a causa de menos días perdidos por incapacidades generadas por accidentes laborales.

- Las luminarias o complementos de lámpara son imprescindibles para el manejo y distribución del flujo luminoso, por lo cual la instalación de estos debe ser cuidadosamente analizada de manera que no genere sombras que entorpezcan el desempeño de la labor o genere flujos directos al puesto de trabajo que deslumbren al trabajador.
- La principal causa de accidentes de tipo SFT (Resbalones, tropiezos y caídas) es atribuida a una iluminación deficiente; un ejemplo de ello se ve en el transporte de personal en minería subterránea donde pueden haber largos trayectos con iluminación únicamente de la lámpara individual y la acción repetitiva de movilizarse caminando puede llegar a ser agotadora y aún más contando con lámpara individual la cual su flujo luminoso es proyectado de una manera focalizada y, por lo tanto, no permite ver mayor detalle del alrededor, por lo que puede ser común el sufrir alguno de estos 3 posibles hechos desafortunados por cansancio o estrés visual.
- La información recopilada en este escrito monográfico permite a las empresas mineras tener una guía de cómo diseñar un sistema de iluminación óptimo, al aprovechar

las medidas de prevención y control que en él se compilan para garantizar un lugar de trabajo adecuado y seguro.

- La implementación y desarrollo de avances tecnológicos como las del campo de la iluminación en minería subterránea por parte de las empresas de este sector económico dan como resultado una mejor imagen corporativa, la cual abre puertas comerciales con las demás empresas dedicadas a esta actividad.

Recomendaciones

- Para mantener un ambiente de trabajo seguro y confortable en labores mineras subterráneas se pueden implementar medidas confiables de estándares de países con un desarrollo más especializado del tema, esto siempre y cuando la normatividad propia no los establezca ni límite. En el caso de la iluminación para minería subterránea, bien se podrían seguir rangos de flujo luminoso para específicas actividades o puestos de trabajo, como las que se pueden observar en el Anexo 2 del presente trabajo monográfico, el cual establece un resumen de normativas internacionales con mayor peso de investigación, las cuales el lector puede implementar siempre y cuando, la legislación nacional no exija un nivel de iluminación superior.

- Toda empresa minera debería de considerar la revisión y mejoramiento continuo de sus sistemas de iluminación, donde se tome en cuenta qué características representan un mayor beneficio o logran una mayor eficiencia, como lo puede llegar a ser a manera de ejemplo la instalación de lámparas en sitios específicos donde favorezcan al

trabajador en el desempeño de su labor y, en caso contrario, no instalarlas en sitios en los cuales causen molestias o no generen mayor beneficio, acciones que serían tomadas en cuenta a futuro para saber dónde instalar y donde no, obteniendo así un sistema que evolucione según las necesidades y la experiencia recopilada desde el inicio de su funcionamiento.

- Las empresas mineras deben vigilar constantemente sus sistemas de iluminación y establecer o emplear medidas que le permitan obtener un control de condiciones de seguridad asociadas al riesgo físico en cuestión, por lo que se recomienda la implementación de la “Planilla de evaluación de las lámparas del sistema de iluminación minero, ANEXO I” desarrollada en el presente trabajo monográfico, ya que es una herramienta que abarca las características más representativas de las lámparas que conformen el sistema.
- Las empresas mineras deben gestionar una inversión más que justificable, dirigida a la implementación de un sistema de iluminación eficiente, además del desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo que asegure una continuidad de funcionamiento del sistema.
- Establecer un sistema de vigilancia epidemiológico donde en los exámenes generales rutinarios se incluya una evaluación visual u optometría y aquellos trabajadores mineros con una deficiencia visual, reciban exámenes con una frecuencia mayor y se establezcan medidas en sus puestos de trabajo que garanticen flujos luminosos adecuados con luminarias que limiten la posibilidad de deslumbramientos.

- Establecer un sistema de vigilancia de cada lámpara, sea estacionaria o individual, llevando una hoja de vida en la cual se registre cada revisión, mantenimiento y modificaciones realizadas, junto con sus características técnicas señaladas por el fabricante, con el fin de obtener información como lo puede llegar a ser cuál es el fallo más común de un tipo de lámpara específico, lo cual permitiría el conocer qué lámpara es más eficiente y poder reemplazar las que salgan de circulación por daño, desgaste o cumplimiento de vida útil.

- Con el fin de evitar los riesgos eléctricos, los sistemas de iluminación deberán cumplir las disposiciones contenidas en el RETIE, para evitar la generación de posibles deflagraciones y explosiones, además que la instalación, revisión y mantenimiento tiene que ser realizados por personal capacitado, especializado en el área de electricidad.

- Tener en cuenta la influencia de la iluminación deficiente o inadecuada en los accidentes de trabajo, para aquellos denominados SFT, siglas en inglés que se refieren a resbalones, tropiezos y caídas, donde se evidencie la necesidad de una intervención ya sea en los sitios de ocurrencia de estos accidentes o en el personal en caso de que las lámparas individuales utilizadas al momento del accidente sean deficientes y se establezcan medidas preventivas y correctivas que reduzcan la incidencia de estos.

- Diversas investigaciones han demostrado que una deficiente iluminación en el desarrollo de las actividades mineras subterráneas incide en la generación de accidentes e incidentes de trabajo, en los cuales no se han tomado en cuenta como una fuente generadora riesgo, por lo cual se recomienda que el factor de iluminación se tenga en

cuenta en las investigaciones de accidentes e incidentes en las operaciones mineras como una causa principal o secundaria dependiendo de cada suceso ocurrido.

Anexos

- Anexo I. Planilla de evaluación recomendada para lámparas de los sistemas de iluminación mineros subterráneos.
- Anexo II. Niveles de Iluminación Recomendados

Referencias

- Diario Oficial de la Federación . (1999). *MANUAL DE SERVICIOS AL PÚBLICO EN MATERIA MINER*. Mexico. Obtenido de http://www.siam.economia.gob.mx/swb/work/models/siam/Resource/18/1/images/MANUAL_SERV_AL_PUBLICO_MATERIA_MINERA.pdf
- Jose Donaldo Reyes. (s.f.). *ACADEMIA*. Obtenido de https://www.academia.edu/25435760/Alumbrado_en_Minas
- AEQUO Contratistas Generales. (s.f.). *AEQUOCONTRATISTAS*. Obtenido de <https://aequocontratistas.com/cintas-interconectables>
- Agencia Nacional de Minería. (19 de 11 de 2020). *Agencia Nacional Minera*. Obtenido de https://www.anm.gov.co/?q=emergencias_mineras
- Airfal. (s.f.). *Airfal International*. Obtenido de <https://www.airfal.com/luminarias-industriales/iluminacion-atex-inteligente-lo-ultimo-de-airfal-16287/>
- Álvarez, R. (2010). Bases físicas de la luz. En *PROCEDIMIENTOS ENDOSCOPICOS EN GASTROENTEROLOGIA* (2 ed., pág. 600). Editorial Médica Panamericana. Obtenido de <http://www.herrerobooks.com/pdf/pan/9786077743057.pdf>
- Amstrong, J., & Menon, R. (1998). MINAS Y CANTERAS. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/161971/Cap%C3%ADtulo+74.+Minas+y+canteras>
- Assaf, L., Colombo, E., & O'Donnell, B. (2002). Luminarias para Iluminación de Interiores. En *Manual de Iluminación Eficiente* (págs. 11-12). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317083814_Luminarias_para_Iluminacion_de_Interiores_httpwwwwedutecneutneduareli-iluminacioncap05pdf
- Beltran & Rodriguez. (2019). *Niveles de Iluminación en Puestos de Estudio - Biblioteca Sede Candelaria*. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17978/Niveles%20de%20Iluminaci%C3%B3n%20en%20Puestos%20de%20Estudio%20-%20Biblioteca%20Sede%20Candelaria%20%20Proyecto%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Blasco, P. (2016). *APUNTES: ILUMINACIÓN*. Obtenido de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/75442/ILUMINACION__GIE-3__2en1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brooke, K., Perrett, L., & Haslam, R. (2002). *Influencia del entorno visual en la estabilidad postural en mujeres mayores sanas*. Obtenido de <https://www.karger.com/Article/Abstract/65252>
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN. (1992). *LEY MINERA*. Mexico. Obtenido de http://www.siam.economia.gob.mx/swb/work/models/siam/Resource/18/1/images/REGLAMENTO_DE_LA_LEY_MINERA.pdf
- Caminos, J. (2011). *Caminos, J (2011). Criterios de Diseño en Iluminación y Color*. Obtenido de https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-01-09_06-42-46130848.pdf
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (30 de 09 de 2019). *Ergonomía de iluminación - General*. Obtenido de Lighting Ergonomics - General : OSH Answers: https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/lighting_general.html#:~:text=People%20receive%20about%2085%20percent,machinery%20and%20other%20safety%20hazards.
- Cardozo, C. (2011). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN TABLERO DE CONTROL APLICABLE A UNA ESTACION DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS*. Obtenido de http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_21151.pdf
- Castro, M. P., & Posligua, N. C. (2015). *Diseño de Iluminación con Luminarias Tipo Led Basado en el Concepto Eficiencia Energética y Confort Visual, Implementación de Estructura Para Pruebas*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10253/1/UPS-GT001344.pdf>
- Centelsa. (s.f.). *Cables para instalaciones eléctricas en minas*. Obtenido de Centelsa una Marca Viakable: <https://www.centelsa.com/archivos/PLEGABLE-CABLES-CENTElsa-PARA-MINERIA.PDF>
- Chantera, P., & Tobar, D. (2013). *ESTUDIO DE LÁMPARAS LED PARA ALUMBRADO PÚBLICO Y DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA CON CONTROL AUTOMÁTICO ON/OFF*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4786>
- Comité Europeo de Normalizacion. (2003). *Iluminacion en los Lugares de Trabajo*. Madrid, España. Obtenido de https://enerfigente.files.wordpress.com/2015/08/une-en_12464-12003.pdf

- Comite Europeo de Normalizacion. (2007). *Aplicaciones de Iluminacion, Alumbrado en Tuneles*. España. Obtenido de http://elrincondepitagoras.es/PAGINAS%20DEFINITIVAS/documentos/UNE-CR_143802007_IN%20Aplicaciones%20de%20iluminaci%C3%B3n%20Alumbrado%20de%20t%C3%BAneles.pdf
- Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid. (2015). Percepción Humana de la Luz. En *Guía de iluminación en túneles e infraestructuras subterráneas* (BOCM ed., pág. 24). BOCM. Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/06/Guia-de-Iluminacion-en-Tuneles-e-Infraestructuras-Subterraneas-fenercom-2015.pdf>
- Cornejo, C., Escobar, G., & Ramirez, C. (2015). *Estudio de iluminación natural y artificial en los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, de la Universidad de El Salvador*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/8292/1/Estudio%20de%20iluminaci%C3%B3n%20natural%20y%20artificial%20en%20los%20edificios%20de%20la%20Facultad%20de%20Ingenier%C3%ADa%20y%20Arquitectura%2C%20de%20la%20Universidad%20de%20El%20Salvador.pdf>
- Cortes, J. (2007). *Seguridad e Higiene en el trabajo: en el Ambito Sanitario*.
- Cortés, J. M. (2012). *SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales* (10 ed.). Tébar Flores. Obtenido de <https://s4991ff22c06ab43d.jimcontent.com/download/version/1584023319/module/8104539763/name/seguridad%20e%20higiene%20en%20el%20trabajo%20%28JM%20Corte-10ed%29-comprimido.pdf>
- Daly, C. (2001). *Iluminación de aspecto cercano en minas de carbón subterráneas*. ACARP. Obtenido de <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/6133546>
- Echazú, R., & Cadena, C. (2012). *MEDIDA EN LABORATORIO DE LA EMISIÓN UV EMITIDA POR LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS*. Obtenido de <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t008-a016.pdf>
- Escobar, C. (2014). *EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE RUIDO, ILUMINACIÓN, TEMPERATURA Y SU EFECTO EN LAS ENFERMEDADES PROFESIONALES EN LA EMPRESA CODELITESA S.A.* Obtenido de https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/7639/1/Tesis_t885mshi.pdf
- Fernandez, J. G. (s.f.). *Recursos Citcea*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint1.html>

- Fundación de la Energía de la comunidad de Madrid. (2015). *GUIA SOBRE TECNOLOGIA LED EN ALUMBRADO*. Obtenido de <https://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2018/07/Guia-sobre-Tecnologia-LED-en-el-Alumbrado-fenercom-2015.pdf>
- Gandia, J., Beltrán, H., & Belenguer, E. (2015). *Eficiencia energética en instalaciones de iluminación*. Obtenido de <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/171200>
- Garcia, M. (2011). *GUÍA TÉCNICA DE APLICACIÓN DEL REGLAMENTO PARA LA PROTECCIÓN DEL CIELO NOCTURNO*. Obtenido de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/14673/GUIA%20APLICACI%C3%93N%20DECRETO%20357_2010.pdf
- Garrido, A., & Trujillo, Y. (2015). *ESTUDIO DE ILUMINACIÓN DE LOS PUESTOS DE TRABAJO ADMINISTRATIVOS DE LA EMPRESA COMERCIALIZADORA INTERNACIONAL VERDE AZUL S.A.S*. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/2907/GarridoLopezAndreaCatalina2016.pdf;jsessionid=2F335C14A32A1E4F617D7B11C60BD4B9?sequence=1>
- Guasch, J. (1998). ILUMINACION. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/160426/N%C3%BAmero+58.+LA+ILUMINACION+EN+EL+PUESTO+DE+TRABAJO>
- Guasch, J. (2008). *Boletín de prevención de riesgos laborales para la Formación Profesional. Número 58. LA ILUMINACION EN EL PUESTO DE TRABAJO*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+46.+Iluminaci%C3%B3n>
- Gutierrez, A. (s.f.). *CONCEPTOS GENERALES DE ILUMINACION. CONCEPTOS GENERALES DE ILUMINACION*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1SI7DXV71FQ-q8xnF4weABdhd8e4biCR3/view?usp=sharing>
- Gutiérrez, R., Sahuquillo, J., & Torres, A. (2006). LA ILUMINACION EN LAS GRANJAS CUNICOLAS (2a PARTE). *Boletín de Cunicultura*, 1(2), 6. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2869770.pdf>
- ILO Content Manager. (13 de Marzo de 2011). *Lighting in Underground Mines*. Obtenido de Encyclopaedia of Occupational Health & Safety: <https://www.iloencyclopaedia.org/part-xi-36283/mining-and-quarrying/item/605-lighting-in-underground-mines>

- Iluminatronics. (s.f.). *Cinta Led Interconectable de 17W de 1 Metro 230V Para Túneles Mineros*. Obtenido de Iluminatronics: <http://www.iluminatronics.com/wp-content/uploads/2020/10/1.-Cinta-led-interconectable-de-17w-de-1m.pdf>
- IMF Business School. (s.f.). *Blog de Prevencion de Riesgos Laborales*. Obtenido de <https://blogs.imf-formacion.com/blog/prevencion-riesgos-laborales/actualidad-laboral/magnitudes-luminosas-fundamentales/>
- Instituto de Seguridad E Higiene de España. (1988). *NTP 211: Iluminación de los centros de trabajo*. Obtenido de https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_211.pdf/e12d5914-642c-4f07-8938-6029c4fff94e
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (2015). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo*. Obtenido de <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/guia-tecnica-para-la-evaluacion-y-la-prevencion-de-los-riesgos-relativos-a-la-utilizacion-de-los-lugares-de-trabajo>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. (2007). *LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LOS LUGARES DE TRABAJO Guía para una intervención sindical*. Obtenido de <http://istas.net/descargas/gverde/gverde.pdf>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2001). *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Oficinas*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Guia_tecnica_de_eficiencia_energetica_en_iluminacion_en_oficinas_6475148d.pdf
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2005). *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Obtenido de https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf
- Instituto Tecnológico de Minas- Universidad de Córdoba. (s.f.). *INSTALACIONES ELÉCTRICAS EN MINERÍA*. Obtenido de http://www.upv.es/electrica/material_tecno/Transparencias_PDF/T5/tema5.pdf
- International Labour Organization. (s.f.). *Physical Hazards Indoor Work Place Lighting*. S.f. Obtenido de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-port_of_spain/documents/presentation/wcms_250198.pdf

- Juslén, H., & Tenner, A. (2005). *Mecanismos involucrados en la mejora del desempeño humano mediante el cambio de iluminación en el lugar de trabajo industrial*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814105000636>
- K. A. Schmersal GmbH. (s.f.). *Protección contra explosiones para zonas 2 y 22 según ATEX* (Edición 01 ed.). Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/146255/proteccion.pdf
- Laurig, W., & Vedder, J. (1998). ERGONOMIA. En *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO* (pág. 29.2). Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/161958/Cap%C3%ADtulo+29.+Ergonom%C3%ADa>
- Lee, F., & Chan, A. (2007). *Atención de señales visuales y auditivas: recomendación ergonómica con consideración de la modalidad de la señal y la compatibilidad espacial de estímulo-reacción*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814106002435>
- Merritt, J., Perry, T., & Crooks, W. (1983). *Recomendaciones para requisitos mínimos de luminancia para minas metálicas y no metálicas*. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Recommendations+for+Minimal+Luminance+Requirements+for+Metal+and+Nonmetal+Mines&author=JO+Merritt&author=TJ+Perry&author=WH+Crooks&author=JE+Uhlener&publication_year=1983&
- Mine Safety and Health Administration (MSHA). (2005). Mining Industry Accident. *Injury, Employment, and Production Statistics*. Obtenido de https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Mining+Industry+Accident,+Injury,+Employment,+and+Production+Statistics&publication_year=2005&
- Ministerio de Energía y Minas. (2017). *Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería*. Perú. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/LEGISLACION/2016/RSSO_2017.pdf
- MINISTERIO DE JUSTICIA . (1983). *MINISTERIO DE JUSTICIA* . Chile. Obtenido de https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/01/ley_18248.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público*. Colombia. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/20729-7853.pdf>

- Ministerio de Minas y Energia. (2013). *Reglamento Tecnico de Instalaciones Electricas*.
Obtenido de
<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/1179442/Anexo+General+del+RETIE+vigente+actualizado+a+2015-1.pdf/57874c58-e61e-4104-8b8c-b64dbabedb13>
- Ministerio de Minas y Energia. (2015). *Reglamento de Seguridad en las Labores Mineras Subterráneas*. Obtenido de
https://www.anm.gov.co/sites/default/files/decreto_1886_de_2015.pdf
- Ministerio de Salud. (2000). *REGLAMENTO SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BÁSICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO*. Chile. Obtenido de
<http://www.sigweb.cl/wp-content/uploads/biblioteca/IluminacionDS594.pdf>
- Ministerio de Trabajo. (1979). *Decreto N° 351*. Agentio. Obtenido de
https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/MONOGRAPH/35031/57892/F1470222346/Dec_351_79.pdf
- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1997). *Disposiciones Minimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo*. España. Obtenido de
http://www.fffis.es/ups/prl/real_decreto_sobre_disposiciones_minimas_sobre_lugares_de_trabajo.pdf
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). *Resolucion 2400*. Obtenido de
<http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/Res.2400-1979.pdf>
- Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de Argentina. (2016). La Luz. En *Guía Practica Sobre Iluminación en el Ambiente Laboral* (pág. 1). SRT. Obtenido de
https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2016/08/Guia_practica_1_Iluminacion_2016.pdf
- MISHRA, H. (2012). *STUDY OF APPLICATION OF L.E.D. LIGHTING SYSTEM IN MINES*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/53188346.pdf>
- Montserrat, C. M. (2012). *Elaboración del material docente actualizado para curso on-line de iluminación Realizado por: Cristina Morente Montserrat*. Obtenido de Curso on-line de Iluminacion: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/index.php>
- Obregón, M., & Márquez, M. (2018). *Impacto Del Factor Iluminación Y Psicosocial En El Desempeño Laboral Del Personal De Apoyo Y Asistencia A La Educación. Caso: UPIICSA*. Obtenido de
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwj_5I3fruDwAhU_GFkFHdSbA9EQFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Feujourna

l.org%2Findex.php%2Fesj%2Farticle%2Fview%2F10565%2F10032&usg=AOvVaw03c
OSoSVtZSDNhc9S5GAg

O'Donell, B., Sandoval, J., & Paukste, F. (2002). Fuentes Luminosas. En *Manual de Iluminación Eficiente*.

OLDHAM. (2008). *OLDHAM*. Obtenido de
https://www.oldhamcaplamps.com/images/uploads/95/g116_datasheet_-_brochure_spanish.pdf

Parlamento Europeo y del Consejo. (1994). *Directiva 94/9/CE*. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Obtenido de <https://www.boe.es/doue/1994/100/L00001-00029.pdf>

Polsermin. (s.f.). *Lamparas Mineras Polsermin*. Obtenido de Polsermin:
<http://www.polsermin.com.co/assets/lamparas-mineras-polsermin.pdf>

Racines, C., & Lozada, M. (2019). *NIVELES DE ILUMINACIÓN EN PUESTOS DE TRABAJO DE UNA EPS DEL RÉGIMEN CONTRIBUTIVO DE SANTIAGO DE CALI PARA EL AÑO 2019*. Obtenido de
<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/1913/NIVELES%20DE%20ILUMINACI%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Real Academia Española. (2001). *Lámpara*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de Diccionario de la Lengua Española: <https://www.rae.es/drae2001/1%C3%A1mpara>

REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA. (2004). *REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA*. Chile. Obtenido de https://consejominero.cl/wp-content/uploads/2019/01/decreto_132.pdf

Revista ELECTRICIDAD . (2016). *ELECTRICIDAD, La revista energetica de Chile*. Obtenido de <https://www.revistaei.cl/informes-tecnicos/iluminacion-en-faenas-mineras-lo-esencial-es-la-adaptabilidad/>

Reyes, M., Sammarco, J., Srednicki, J., & Gallagher, S. (2011). *Evaluación comparativa de lámparas de casquillo de diodos emisores de luz con énfasis en el rendimiento visual en condiciones de iluminación mesópica*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/224078633_Evaluation_of_Visual_Performance_When_Using_Incandescent_Fluorescent_and_LED_Machine_Lights_in_Mesopic_Conditions

Rios, H. (2019). *PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA BAJO LA NORMA ISO 50001, PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS EN*

- TALLER DE MANTENIMIENTO MECÁNICO DE UNA EMPRESA MINERA*. Obtenido de
https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/1510/2018_ADYDE_18-2_19_TI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, A. (s.f.). *PREVENCIÓN DE RIESGOS ERGONÓMICOS Y PSICOSOCIALES A BECARIOS DE INVESTIGACIÓN*. Obtenido de
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5403/>
- Rodríguez, M. (2012). *Transformadores*. Obtenido de
<https://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Trafos.pdf>
- Sanders, M., & Peay, J. (1998). *Los factores humanos en la minería, circular informativa IC9182*. Obtenido de
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Human+Factors+in+Mining,+Information+circular+IC9182&author=MS+Sanders&author=JM+Peay&publication_year=1998&
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes de Mexico. (2015). *MANUAL DE ILUMINACIÓN VIAL*. Obtenido de
https://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/Manual_iluminacion/Manual_de_Iluminacion_Vial_2015.pdf
- SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL. (2008). *NOM-025-STPS - Condiciones de iluminación en los centros de trabajo*. Mexico. Obtenido de
<http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/nom-025.pdf>
- SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL. (2012). *Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo*. Mexico. Obtenido de
<http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-023.pdf>
- Seguridad Minera. (2012). Acerca de la lámpara minera. *Revista Seguridad Minera*, 1. Obtenido de
<https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/acerca-de-la-lampara-minera/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. (31 de 12 de 2020). *Departamento de Investigación de Accidentes y Sanciones*. Obtenido de
https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2021/04/Accidentabilidad_Minera_2020.pdf
- Serway, & Jewett. (2008). *Physics for Scientists and Engineers* (Septima ed., Vol. 2). Brooks/Cole.

- Serway, R. A., & Beichner, R. J. (2002). *Fisica para ciencias e ingenieria* (5 ed., Vol. 2). McGRAW-HILL. Obtenido de <https://biblioseb.files.wordpress.com/2013/04/fisica-vol-2-5ta-edicion-serway.pdf>
- Sirlin, E. (2006). “*La luz en el teatro*” - *Manual de iluminación*. Obtenido de https://escueladeteatroytiteres.com.ar/wp-content/uploads/La_luz_en_el_teatro_Sirlin.pdf
- Soto, E., & Paz, J. (2006). *MANUAL DE ILUMINACION INTERIOR (ILUMINACIONES TECNICAS S.A.)*. Obtenido de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6072/T04075.pdf;jsessionid=531D8280C234D5B5C42D983D52A3A1E9?sequence=1>
- SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO. (2007). *Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera*. Argentina. Obtenido de http://archivo.cta.org.ar/IMG/pdf/Decreto_249_2007_actividad_minera.pdf
- Universidad Politecnica de Valencia. (s.f). *CANALIZACIONES ELÉCTRICAS*. Valencia, España. Obtenido de http://www.upv.es/electrica/material_tecno/Transparencias_PDF/T5/tema5.pdf
- Videocreacion. (08 de 05 de 2013). *Airfal International*. Obtenido de <https://www.airfal.com/luminarias-atex-noticias/iluminacion-minas-subterranas-2174/>
- Villegas, C., & Ordoñez, V. (2017). *PLAN DE MANEJO DE LOS NIVELES DE ILUMINACION DEL AREA ADMINISTRATIVA DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS METROLOGICOS DE GUAYAQUIL*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14844/1/UPS-GT002012.pdf>

Anexo 1. Planilla de evaluación recomendada para lámparas de los sistemas de iluminación mineros subterráneos.

Planilla de Evaluación de las Fuentes de Iluminación						
Lámparas estacionarias						
#	Característica	Valoración				Observaciones
		1	2	3	4	
Condiciones físicas						
A	Estado físico general	Excelente	Bueno	Desgastado	Deteriorado	
B	Recubrimiento Vidrio AT	Buen estado	Rayado	Fisurado	Roto	
C	Limpieza	Limpio	Sucio	Manchado	Oxido	
D	Instalación de la lampara	Fija	Movible	Desprendida	Caída	
El mantenimiento de las lámparas debe ser registrado en la hoja de vida de cada una de estas, de donde se obtendrá la valoración dependiendo de la última fecha que se haya realizado.						
E	Mantenimiento	Menos de 1 mes	3mes	6meses	1 año	
Condiciones de Funcionamiento						
F	Emisión del flujo luminoso	Continuo	Intermitencia baja	Intermitencia alta	No prende	
G	Calidad del flujo proyectado	Excelente	Tenue	Opaco	Prende sin proyectar luz	
Para evaluar el Flujo luminoso se debe utilizar un "Luxómetro" y la medida obtenida deberá ser escrita en la casilla de observaciones y compararla con el flujo luminoso establecido por actividad, Ver anexo #						
H	Flujo luminoso (Ver anexo #)	Excelente	Sobrepasa / Genera deslumbramiento	Deficiente	Inaceptable	
Lámparas Individuales						

#	Característica	Valoración				Observaciones
		1	2	3	4	
Condiciones físicas						
I	Estado físico general	Excelente	Bueno	Desgastado	Deteriorado	
J	Acrílico o cristal	Buen estado	Rayado	Fisurado	Roto	
K	Limpieza	Limpio	empolvado	Sucio	Manchado	
L	Ajuste a Portalámparas	Fija	Movible	Desprendida	No tiene	
M	Estado del cable	Excelente	Desgastado	Sin Recubrimiento	Roto	
Condiciones de Funcionamiento						
La batería se deberá poner a prueba en la lampistería, dejándola encendida por un lapso de tiempo indeterminado hasta que se apague, para medir la capacidad de carga que pueda mantener en función del tiempo						
N	Duración de batería	Excelente, duración mayor a 8 horas	Aceptable, duración estable por 8 horas	Deficiente, duración menor a 8 horas	Inaceptable, duración menor a 2 horas	
Para evaluar el Flujo luminoso se debe utilizar un "Luxómetro" y la medida obtenida deberá ser escrita en la casilla de observaciones y compararla con el flujo luminoso establecido en la ficha técnica de la lámpara.						
O	Flujo luminoso	Excelente	Bueno	Deficiente	Inaceptable	

Anexo 2. Niveles de Iluminación Recomendados Para Labores Mineras Subterráneas.

Anexo II.		
Niveles de Iluminación Recomendados Para Labores Mineras Subterráneas		
Norma	Sector/Actividad	Niveles establecidos
NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo	Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia	50 Lux
NORMA Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2012, Minas subterráneas y minas a cielo abierto - Condiciones de seguridad y salud en el trabajo	Puntos de acceso a las naves de la torre de extracción de los tiros;	100 Lux
	Cuartos de malacates	
	Unidad motriz de los transportadores para movimiento de materiales;	
	Estaciones de bombeo y tolvas generales de descarga	
	Otras instalaciones fijas que cuenten con maquinaria;	

D.S. N° 023-2017-EM en
modificación al Decreto
Supremo N° 024-2016-EM

<p>Lámparas de seguridad deben poder mantener una duración de carga de 12 horas, logrando a una distancia de 1.2m una intensidad de</p>	<p>2500 Lux</p>
<p>Salas de máquinas, evitando uso de fluorescentes donde haya máquinas con movimiento rotatorio</p>	<p>200 Lux</p>
<p>Las subestaciones eléctricas deben ubicarse fuera del eje de las galerías principales, en cruceros especialmente preparados para este fin, con puerta, candado, señalización de seguridad y avisos con intensidad luminosa de</p>	<p>300 Lux</p>
<p>Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en funciones y trabajos similares</p>	<p>300 Lux</p>

	Salas y paneles de control	300-500 Lux
Resumen de los niveles de iluminación internacionales (Lux) ECSC 1990; MVS 1992; Piekorz 1997	Según el resumen de los niveles de iluminación internacionales para zonas mineras de ECSC 1990; MVS 1992; Piekorz 1997, se recomiendan estos rangos.	
	Frentes	20-160 Lux
	Lugares de Carga	20-160 Lux
	Interior de Maquinaria	20-80 Lux
	Vías de Transporte	2-20 Lux
	Guías y Niveles	5-53 Lux
	Taller	20-400 Lux
Decreto 249/2007: Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera	Bajas exigencias visuales	100 Lux
	Exigencias visuales moderadas	200 Lux
	Exigencias visuales altas	500 Lux
	Áreas o locales de uso ocasional	50 Lux
	Áreas o locales de uso habitual	100 Lux
	Vías de circulación de uso ocasional	25 Lux
	Vías de circulación de uso habitual	50 Lux

La presente tabla recopilatoria establece los flujos luminosos que poseen mayor nivel de iluminación para cada actividad o sitio de trabajo que pueda existir en minería subterránea, tomando en cuenta las normativas de varios países con un desarrollo superior del tema.