

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Mitigación del material particulado polvo en el tramo 9 tajo Ferrobamba U. M. Las Bambas –
Apurímac - 2021

Presentado por:

Marlube Terrazas Almanza

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“MITIGACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO POLVO EN EL TRAMO 9 TAJO
FERROBAMBA U. M. LAS BAMBAS – APURÍMAC - 2021”

Presentado por **Marlube Terrazas Almanza**, para optar el Título de:

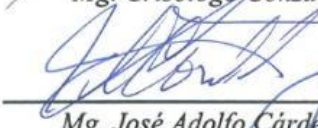
INGENIERO DE MINAS

Sustentado y aprobado el 23 de mayo del 2023 ante el jurado evaluador:

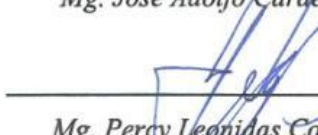
Presidente:


Mg. Crisologo Conza Ancaypuro

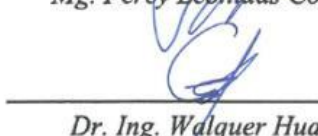
Primer Miembro:


Mg. José Adolfo Cárdenas Catalán

Segundo Miembro:


Mg. Percy Leonidas Cortes Miranda

Asesor (es) :


Dr. Ing. Walquer Huacani Calsin

Agradecimiento

A Dios por ser la luz que guía mi camino, a mis padres, que gracias a ellos soy lo que soy, por darme su apoyo incondicional, la fuerza necesaria para seguir adelante y ser mis mentores para llegar a cumplir mis metas.

A la Empresa Metal Sur Famin SRL, por darme la oportunidad de poder desempeñarme como persona y profesional, agradezco de modo muy especial a mi Residente Ing. Wilbert Colque Huillca por el apoyo brindado desde mi ingreso a la empresa.



Dedicatoria

A mis padres Manuel Terrazas Pimentel y Adelma Almanza Alata, a mis hermanas, y de modo muy especial a una persona que estuvo ahí para todo lo que necesite, gracias por todo el apoyo que me han mostrado y dado todo este tiempo de formación.



“Mitigación del material particulado polvo en el tramo 9 tajo Ferrobamba U. M. Las Bambas
– Apurímac - 2021”

Línea de investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
1. CAPÍTULO I	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
1.1. Descripción del problema	6
1.2. Enunciado del problema	8
1.2.1. Problema general	8
1.2.2. Problemas específicos.....	8
1.3. Justificación de la investigación	8
1.3.1. Justificación	8
2. CAPÍTULO II	10
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	10
2.1. Objetivos de la investigación	10
2.1.1. Objetivo general.....	10
2.1.2. Objetivos específicos	10
2.2. Hipótesis de la investigación	10
2.2.1. Hipótesis general	10
2.2.2. Hipótesis específicas.....	10
2.3. Operacionalización de variables	10
3. CAPÍTULO III	12
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	12
3.1. Antecedentes	12
3.2. Marco teórico	16
3.2.1. El polvo.....	16
3.2.2. Material particulado.....	17
3.2.3. Polvo de mina	17
3.2.4. Fuentes de generación del polvo	18
3.2.5. Impacto de la generación de polvo	20

3.2.6.	Enfermedades ocasionadas por la inhalación de polvo	21
3.2.7.	Equipos para el control de contaminantes	23
3.2.8.	Sistema de mitigación del polvo Empresa Minera Las Bambas.....	27
3.2.9.	Sistema de mitigación de polvo propuesto riego automático mediante aspersores	28
3.3.	Marco conceptual.....	31
4.	CAPÍTULO IV	44
	METODOLOGÍA.....	44
4.1.	Tipo y nivel de investigación.....	44
4.2.	Diseño de investigación	44
4.3.	Población y muestra.....	44
4.3.1.	Población	44
4.3.2.	Muestra	44
4.4.	Procedimiento de la investigación	44
4.4.1.	Técnicas de mediciones y recolección de datos	44
4.4.2.	Procesamiento de la información.....	45
4.5.	Material de investigación.....	45
4.5.1.	Instrumentos de investigación	45
4.6.	Estadística de la investigación	47
4.6.1.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	47
5.	CAPÍTULO V.....	49
	RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
5.1.	Análisis de resultados	49
5.1.1.	Monitoreo de partículas en suspensión PM _{2.5}	49
5.1.2.	Determinación de costos del sistema de regado del polvo de las vías.....	52
5.2.	Contrastación de hipótesis	56
5.2.1.	Hipótesis general	56
5.2.2.	Hipótesis específica	56
5.3.	Discusiones del resultado.....	56
6.	CAPÍTULO VI	60
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
6.1.	Conclusiones	60
6.2.	Recomendaciones	61



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	66



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Operacionalización de Variables	11
Tabla 2 — Tamaño de partículas de polvo	18
Tabla 3 — Niveles permisibles de la calidad del aire	21
Tabla 4 — Tamaño de partícula atrapados	23
Tabla 5 — Estándares Nacionales de Calidad del Aire	34
Tabla 6 — Rango tamaño de partículas.....	36
Tabla 7 — Rango de temperatura	42
Tabla 8 — Concentración de partículas en suspensión PM _{2.5} - 26/06/21	50
Tabla 9 — Concentración de partículas en suspensión PM ₁₀ - 26/06/21	51
Tabla 10 — Costo operacional actual - cisterna de agua HD 15000.....	53
Tabla 11 — Costo operacional propuesto - Sistema automático de supresión de polvo.....	54
Tabla 12 — Costo operacional propuesto - Sistema automático de supresión de polvo.....	55
Tabla 13 — Concentración de partículas en suspensión PM _{2.5} pre y pos riego con el Sistema de mitigación de polvo	56
Tabla 14 — Concentración de partículas en suspensión PM ₁₀ pre y pos riego con el sistema de aspersión	57
Tabla 15 —Dosier proyecto riego por aspersores Tramo 9.....	67
Tabla 16 —Lista de suministros	71
Tabla 17 —Limite máximos permisibles de las partículas en suspensión PM ₁₀ y PM _{2.5}	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 — Sistema de riego por camiones.....	25
Figura 2 — Cañones pulverizadores de polvo	26
Figura 3 — Vías Tajo Ferrobamba - Minera las Bambas	28
Figura 4 — Instalación de cañones supresores de polvo.....	29
Figura 5 — Funcionamiento de los cañones supresores de polvo	30
Figura 6 — Estratigrafía de las vías principales - Tajo Ferrobamba.....	37
Figura 7 — Temperatura ambiental 2021 (Estación meteorológica Tambobamba	38
Figura 8 — Humedad relativa 2021 (Estación meteorológica Tambobamba	39
Figura 9 — Precipitación anual 2021 (Estación meteorológica Tambobamba.....	40
Figura 10 — Velocidad de viento anual Estación meteorológica Tambobamba	41
Figura 11 — Parámetros de diseño de vías principales de producción Tajo Ferrobamba	42
Figura 12 — Muestreador de Polvo Lighthouse Handheld 3016-IAQ	46
Figura 13 — Diseño metodológico	48
Figura 14 — Concentración de partículas PM _{2.5} según horario establecido - 26/06/21.....	50
Figura 15 — Concentración de partículas PM ₁₀ según horario establecido - 26/06/21	52
Figura 16 — Comparación de resultados pre y pos instalación de aspersores PM _{2.5} – 15/11/21	57
Figura 17 — Comparación de resultados pre y pos instalación de aspersores PM ₁₀ - 15/10/21	58
Figura 18 — Comparación de costos de los sistemas de regado.....	59
Figura 19 —Vías mineras Tajo Ferrobamba	68
Figura 20 — Instalación de aspersores Tajo Ferrobamba	69
Figura 21 —Vía Tramo 9 Tajo Ferrobamba.....	69



Figura 22 — Vía Tramo 2 Tajo Ferrobamba.....	70
Figura 23 —Plano de ubicación U.M Las Bambas	71
Figura 24 — Plano de ubicación tramo 9.....	71
Figura 25 — Sistema de aspersión en funcionamiento tramo 09.....	71
Figura 26 — Encendido del aspersor N° 03 en el tramo 09.....	71
Figura 27 —Encendido de los aspersores N° 4 y 5 en el tramo 09	71
Figura 28—Sistema de abastecimiento de camiones cisterna (garzas)	71
Figura 29 —Acopio temporal de agua (sumideros)	71
Figura 30 —Abastecimiento de agua al camión cisterna Komatsu HD1500-8.....	71
Figura 31 — Tendido de tubería HDPE 6” en el Tramo 09.....	71
Figura 32 — Cableado eléctrico sobre berma para cañones aspersores en el Tramo 09	71
Figura 33 —Instalación de aspersores sobre berma en el Tramo 09.....	71
Figura 34 — Instalación de sistema de control para abastecimiento de camiones cisterna	71



INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras que actualmente operan a nivel mundial y nacional, transportan grandes volúmenes de mineral, para ello requieren maquinaria pesada de gran capacidad de volumen para el traslado de mineral, para abastecer las plantas de tratamiento del mineral, traslado a los depósitos de almacenamiento, para depósitos de material estéril, transporte de material a los frentes de trabajo entre otros, estos al manipular emanan partículas de diferentes diámetros de polvo, estos pueden ser fácilmente dispersados por el viento, según Brauer et al., (2019), las fuentes generadoras que contaminan al aire atmosférico en las empresas mineras con material particulado, es debido a la acción del viento, que se generan en la perforación, voladuras, carguío de material, acarreo de materiales, erosión eólica (minas a tajo abierto), otros contaminantes proveniente de depósitos de relaves, chancadoras, fajas transportadoras, vías de transporte de mineral entre otros. Por otro lado, las fugas de gases contaminantes que salen de los escapes de fuentes móviles (camiones, vehículos de transporte, maquinaria pesada que operan en la mina, entre otros), también generan material particulado (polvo). Así mismo las emisiones de gases que se generan por la combustión de los vehículos diésel, las fuentes estacionarias de voladuras de rocas, en las fuentes de procesamiento de minerales, en el transporte de vehículos entre otras operaciones, se producen estos contaminantes que se mezclan con la atmósfera, y son transportados por el aire, algunos se diluyen y están sujetos a cambios (físicos y químicos) en la atmósfera y posteriormente llegan al receptor (personas, vehículos de transportes, a la población), así mismo estos contaminantes al inhalar causan efectos en la salud de las personas y del medio ambiente, según varios estudios realizados (Instituto Geológico y Minero de España 2004; YANG Y LIN 2009; OSPINA, GONZÁLEZ Y FERNÁNDEZ 2011).

De acuerdo con (TAPIA 2017; RADA 2017), citado por BRAUER ET AL., (2019), hoy en día existen empresas a pequeña, mediana y gran escala, estos con las operaciones unitarias que realizan contribuyen también a la contaminación del aire atmosférico, en las etapas de producción y operación, cabe indicar también en las actividades de extracción de mineral, en el procesamiento, acarreo y transporte de mineral, generan contaminantes (polvo), por otro lado los gases que se generan como podemos indicar al monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno entre otros gases, estos van alterando la composición del aire atmosférico. En muchas empresas no hay un adecuado programa de control de polvo, este material



particulado afecta el normal desempeño del personal y de los equipos de producción, lo que disminuye la productividad en la operación y afecta la salud de los trabajadores.

Con las afirmaciones de (BEAULIEU ET AL. 2011; URTEAGA 2016; ULATE-CASTILLO 2018), citado por BRAUER ET AL., (2019), en las vías de transporte de vehículos, para evitar la polución del polvo, utilizan el líquido agua para su mantenimiento de la vía, a la vez este líquido mejora la carpeta de rodadura. Por lo tanto, “Los vehículos consumen menos combustible, se extiende la vida útil de los neumáticos y entrega un entorno más seguro. Además, mejora la calidad de vida para las personas y las comunidades aledañas, dejando de afectar la salud de trabajadores y aledaños” (ADDO SANDERS Y CHENARD 2004).

Tradicionalmente la mayoría de las empresas mineras mitigan las partículas de polvo por peso y humedad, regando los caminos” (GASTAÑAGA COLL Y MEDINA 1963; HERNÁNDEZ 2018). “Esta práctica es ineficiente, ya que las tasas de evaporación en zonas áridas y calurosas son de 30 minutos aproximadamente, y en climas fríos se congelan generando derrapamiento, cambian el pH del medio acuoso y napas subterráneas, por mencionar algunos problemas (BRAUER ET AL., 2019).

En la U.M. Las Bambas actualmente se realizan la explotación del tajo Ferrobamba, el cual, es uno de los tres tajos aprobados a favor de la U.M. Las Bambas en el EIA (2011), cuya capacidad de procesamiento es de 145 ktpd (miles de toneladas diarias de tratamiento de mineral) aprobada mediante la R.D. N° 219-2017-SENACE/DCA., en la Tercera MEIA (2018), se actualizó el plan de minado sin necesidad de incrementar la capacidad de procesamiento de 145 ktpd. Por otro lado, la actualización del plan de minado se sustentó en la variación de los frentes de explotación del tajo Ferrobamba y en la optimización de la distribución y almacenamiento del material extraído (mineral y desmonte). Este plan de minado considera un total de mineral a extraer de los tres tajos de 800.328 Mt, distribuidos de la siguiente manera: tajo Ferrobamba con un total de mineral a extraer de 540.592 Mt (millones de toneladas), el tajo Chalcobamba con 198.371 Mt, y el tajo Sulfobamba con 61.365 Mt. De acuerdo al plan de minado de la Empresa Las Bambas, el Año 2022 tendrá un movimiento de material total (total rock moved) de 231,421 kt, el cual corresponderá a las actividades de operación del tajo Ferrobamba y Chalcobamba.

Uno de los factores más importantes en la operación de las Bambas es el cuidado permanente del medio ambiente y la salud de sus trabajadores, En las Bambas se tiene un periodo de lluvias de aproximadamente 4 meses y se tiene un periodo seco de 8 meses en los cuales es necesario el control de polvo en las vías. Para el monitoreo de partículas de polvo en el aire, la empresa



realiza un control permanente a través del Departamento de Medio Ambiente. Los indicios que me motivan a hacer este trabajo de investigación, evidentemente son los problemas ambientales de polución de polvo y los impactos creados en los trabajadores, en el entorno y al medio ambiente; por ello se plantea un sistema de mitigación del Polvo, mediante el uso de riego, para mitigar la polución del polvo en la Empresa Minera Las Bambas, para las vías de transporte de mineral y mejorar las condiciones de operación de los camiones mineros y de los trabajadores.

Por medio del presente trabajo de investigación se pretende contribuir a la solución en parte del gran problema, que existe en la zona por la contaminación de polvos generados en el tramo 9 del tajo Ferrobamba, por otro lado, se centra en identificar los problemas en el proceso productivo, un hecho ambiental, como poder conocerlo y en lo posible mitigarlo y disminuir sus efectos.

El presente trabajo de investigación se divide en cinco capítulos, en el capítulo I, se considera la introducción y la ubicación, en el capítulo II, se desarrolla el planteamiento del problema, marco teórico analizando las bases teóricas fundamentales y definiciones conceptuales que serán la base para realizar el trabajo de investigación, en el capítulo III, se describe los antecedentes de la investigación, el marco conceptual de la investigación, en el capítulo IV, se desarrolla el diseño metodológico, las variables, hipótesis, operacionalización de variables, programación y presupuesto del Plan de Tesis “MITIGACIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO POLVO EN EL TRAMO 9 TAJO FERROBAMBA U.M. LAS BAMBAS – APURÍMÁC - 2021”.



RESUMEN

La polución de polvo en las vías por camiones mineros es un problema común en las zonas mineras, puede ser perjudicial para la salud de las personas y también puede afectar a la calidad del aire, del agua y el medio ambiente. El presente estudio tiene por finalidad mitigar el material particulado polvo en suspensión que se genera en las vías de transporte en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas – Apurímac – 2021, para esta investigación se ha tomado un enfoque cuantitativo el mismo que recae en un diseño experimental. Tiene como objetivo comparar dos sistemas de mitigación de partículas de polvo en las vías de operación dentro la mina en Tajo Abierto, para cumplir con los límites máximos permisibles de polución ambiental de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, mediante el regado por camiones cisternas e instalación de aspersores, para evitar que la contaminación generada afecte al medio ambiente y la visibilidad de los conductores. Los resultados del análisis, muestra una disminución de partículas en suspensión $PM_{2.5}$, para camión cisterna de $2,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y con aspersores un valor de $1,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de la misma forma las partículas en suspensión PM_{10} , con camión cisterna es de $7,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $6,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con sistema de riego automático por aspersores; así mismo los costos de comparación anuales con los sistemas de regado frecuente de las vías por camiones cisternas que circulan constantemente por dichas vías es de \$/. 5,257,921.70 y con la implementación del sistema automático de regado de las vías de transporte mediante aspersores asciende a \$/. 3,013,059.68, haciendo una proyección para 10 años se visualiza un ahorro de \$/. 41,400,817.30 aplicando el sistema de riego automático por aspersores. En conclusión, se debe aplicar el sistema de riego automático por aspersores en las vías principales y zonas operativas de Minera Las Bambas.

Palabra clave: *Aspersores, mitigar, polución, polvo y vías.*



ABSTRACT

Dust pollution on the roads by mining trucks is a common problem in mining areas, it can be detrimental to people's health and can also affect the quality of air, water and the environment. The purpose of this study is to mitigate the suspended dust particulate material that is generated on the transportation roads in section 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas - Apurímac - 2021, for this research a quantitative approach has been taken, which relies on an experimental design. Its objective is to compare two dust particle mitigation systems in the operation routes within the Open Pit mine, to comply with the maximum permissible limits of environmental pollution of PM10 and PM2.5 particles, through irrigation by tanker trucks and installation of sprinklers, to prevent the pollution generated from affecting the environment and the visibility of drivers. The results of the analysis show a decrease in PM2.5 suspended particle contaminants, for tank trucks of 2.56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and with sprinklers a value of 1.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in the same way PM10 suspended particles with a tanker truck it is 7.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 6.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ with an automatic sprinkler irrigation system; Likewise, the costs of comparison with the systems of frequent watering of the roads by tanker trucks that constantly circulate on said roads is \$/. 5,257,921.70 and with the implementation of the automatic watering system for transportation routes using sprinklers amounts to \$/. 3,013,059.68, making a projection for 10 years, a saving of \$/. 41,400,817.30 applying the automatic sprinkler irrigation system. In conclusion, the automatic sprinkler irrigation system must be applied on the main and operational roads of Minera Las Bambas Mining Company.

Keyword: *Sprinklers, mitigate, pollution, dust and road*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Las actividades minero-metalúrgicas generan impactos al medio ambiente, de varias formas, como la emisión de polvo, considerados como fuentes de emisiones fugitivas, son fuentes en las que no es posible determinar el punto exacto de emisión. Estas emisiones están asociadas al proceso de transporte de material sobre accesos afirmados, tránsito de camiones mineros para el transporte de material de mina del tajo Ferrobamba hacia botadero Ferrobamba, fajas transportadoras de la Chancadora, hacia la Planta Concentradora, actividades de transferencia de material (carguío y descarga, fajas), actividades de perforaciones y voladuras para la operación del tajo Ferrobamba, tajo Chalcobamba, y la erosión eólica, por otra parte se tiene fuentes de emisiones no fugitivas estas corresponden a las emisiones provenientes del tubo de escape de los equipos y maquinarias que se utilizarán para la construcción y/o habilitación de componentes, fuentes de área: tractor, rodillo, excavadora, mezcladora (mixer) retroexcavadora, perforadora, grúa de izaje de estructuras, motoniveladora, cisterna de agua, cargador frontal, pala hidráulica y pala de cuerda eléctrica, taladro, fuentes puntales: se refieren a las actividades de procesamiento del mineral en chancadora F, chancadora C, chancadoras de pebbles y chancadoras móviles, así como el procesamiento del mineral en el molino SAG, así como para las actividades de operación de la U.M. Las Bambas, muchas empresas dedicadas a la actividad minera, no hay un control ambiental permanente, de los límites máximos permisibles, para proteger la salud de los trabajadores que están expuestos al polvo, se crea a través del Ministerio del Ambiente mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM .- donde Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire y establecen Disposiciones Complementarias, MINEM Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones (Monitoreo de la Polución del Aire del Ambiente) , y la promulgación de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo Ley N° 29783 en el año 2011.



Actualmente, en la U.M. Las Bambas, se desarrolla la explotación del yacimiento Ferrobamba y se tiene programado hacia más adelante la extracción de mineral de los yacimientos Chalcobamba y Sulfobamba. El procesamiento de mineral indican que debe ser una tasa promedio de 145,000 toneladas por día (Capacidad de procesamiento aprobada mediante un ITS con R.D. N° 219-2017-SENACE/DCA), generando como producto concentrado de cobre y molibdeno, con una ley de cobre aproximada de 35%, por lo cual, la producción promedio anual estimada de cobre fino es del orden de 314,000 toneladas anuales, debido a las modificaciones en el plan de minado específicamente para los años 2020, 2021 y 2022, estas modificaciones están relacionadas principalmente a los siguientes aspectos:

Incremento del movimiento de material de 182,000 kt (1er ITS de la Tercera MEIA) a 206,261 kt (miles de toneladas) en el Año 2020; 212,566 kt en el Año 2021; y a 231,421 kt en el Año 2022; Incremento de la flota minera de 118 maquinarias/equipos a 147 maquinarias/equipos en el Año 2020 y el Año 2021; y a 148 maquinarias/equipos en el Año 2022 con incrementos distribuidos principalmente en camiones mineros, estos generan polvo emitiendo emisiones de material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$), estos monitoreos han sido efectuados en presencia del área de Higiene y Seguridad y Salud Ocupacional, al personal que labora y que están expuestas a los agentes químicos; dentro de ellas las partículas de polvo en suspensión con diámetros máximos de $3 \mu g/m^3$ de polvo respirable y de $10 \mu g/m^3$ de polvo inhalable estos están estipulados en el Anexo N° 15 del DS 024-2016-EM, valores que cuando exceden ocasionan enfermedades ocupacionales por ejemplo la neumoconiosis.

Debido a la polución ambiental (polvo) generada por transporte de vehículos en el Tramo 9 Tajo Ferrobamba, y para evitar que la polución afecte a los trabajadores de diferentes áreas, a la visibilidad de los conductores de vehículos y al medio ambiente, estas vías actualmente son regadas constantemente mediante camiones cisterna que circulan por dichas vías, en este trabajo de investigación se plantea instalar un sistema automático de supresión de polvo, mediante cañones-aspersores, que son capaces de cubrir áreas grandes de la vía con una lluvia de agua constante. Estos cañones aspersores deben estar dispuestos al costado de la vía, sobre el talud de protección para el riego permanente y uniforme de la vía de transporte.



1.2. Enunciado del problema

1.2.1. Problema general

¿En qué medida la implementación del sistema de mitigación del material particulado Polvo, reduce la polución ambiental en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M Las Bambas-2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera se implementará el sistema de mitigación de Polvo en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M Las Bambas-2021?
- ¿Cómo controlar el material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}) en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021?
- ¿Cómo influye los costos con la implementación de supresión de polvo, mediante aspersores en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación

Con este trabajo de investigación, se intenta demostrar para reducir la contaminación ambiental y a la exposición del personal al polvo generado por el incremento de movimiento de material, en ese sentido se incrementará la cantidad de flotas de volquetes y camiones que circulen para acarrear y extraer de los tres tajos : Tajo Ferrobamba con un total de mineral a extraer de 540.592 Mt, el tajo Chalcobamba con 198.371 Mt, y el tajo Sulfobamba con 61.365 Mt, esto implica aumento de flota minera, en donde la Tercera MEIA (2018), se actualizó el plan de minado sin necesidad de incrementar la capacidad de procesamiento de 145 ktpd. La actualización del plan de minado se sustentó en la variación de los frentes de explotación del tajo Ferrobamba y en la optimización de la distribución y almacenamiento del material extraído (mineral y desmonte). Este plan de minado considera un total de mineral a extraer de los tres tajos de 800.328 Mt.

Los análisis de estas medidas de impacto ocasionado por la polución del polvo, serán de gran utilidad para las instancias que realizan el seguimiento, fiscalización ambiental y de salud ocupacional de los trabajadores por ente de Instituciones del Estado. Si mismo tiene como finalidad determinar las concentraciones de polvo ambiental en los lugares de trabajo por exposición en una jornada o tarea laboral,

donde se monitorearán los límites máximos permisibles, donde no deben sobrepasar de acuerdo a los Estándares Establecidos de Monitoreo de la Polución del Aire del Ambiente.

Las actividades extractivas de minería y concentradoras metalúrgicas generan diversos agentes contaminadores de aire en diferentes cantidades, actualmente con una exposición promedio de partículas de polvo respirable de 4.5 mg/m³ excediendo los límites de exposición de partículas respirables y de 5.0 µg/m³ promedio del estándar de calidad ambiental, los cuales deben ser controlados con la implementación del sistema de mitigación de polvo.

Cada parte que integra el Sistema de Mitigación de polvo tiene como objetivo el control de aspectos ambientales para contrarrestar la contaminación de polvo en los lugares de trabajo, considerando una variable clave la velocidad del viento que se registra en el complejo minero Las Bambas; sin dejar de mencionar los daños a la persona como la posible aparición de enfermedades ocupacionales como la neumoconiosis debido por la exposición a agentes químicos, como el polvo suspendido, sin controlar los límites máximos permisibles de exposición personal y ambiental.

Al implementar el sistema automático de riego por aspersores, se reducirá en un porcentaje la polución del polvo ambiental, para mantener dentro los límites máximos permisibles y reducir los costos para mantener las vías de transporte humectadas con chorros de agua.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivos de la investigación

2.1.1. Objetivo general

Implementar el sistema de mitigación del material particulado Polvo, para reducir la polución ambiental para el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.

2.1.2. Objetivos específicos

- Implementar el sistema de mitigación de Polvo en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.
- Controlar el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.
- Evaluar los costos de la implementación de supresión de polvo mediante aspersores en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021?

2.2. Hipótesis de la investigación

2.2.1. Hipótesis general

Con la implementación del sistema de mitigación del material particulado Polvo, se reduciría la polución ambiental en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.

2.2.2. Hipótesis específicas

- Con la implementación de un sistema de mitigación de Polvo, se reducirá la emisión del material particulado polvo a niveles permisibles el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.
- Se controlará el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.
- Se reducirán los costos con la implementación de supresión de polvo mediante aspersores en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas-2021.

2.3. Operacionalización de variables

Variable independiente



- Mitigación del material particulado polvo

Variable dependiente

- Polución ambiental tramo 9 tajo Ferrobamba

Tabla 1— Operacionalización de Variables

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICE
Independiente. Mitigación del material particulado polvo	Polvo	La composición química del polvo proveniente del tajo. Tamaño de partículas presentes en el ambiente. Densidad relativa. Humedad.
	Mitigación del material particulado	Sistema de riego para la supresión de polvo. Cañones aspersores de polvo Distancia entre cañones Radio de chorro de agua Tiempo aproximado del ciclo Consumo de agua (hora)
Dependiente. Polución ambiental tramo 9 tajo Ferrobamba	Fuentes de emisión fugitivas <u>Fuente lineal volumétrica.</u> ❖ Tránsito de volquetes ❖ Tránsito de mezcladoras ❖ Tránsito de camiones mineros ❖ Tránsito de cisternas de agua ❖ Fajas transportadoras	PM ₁₀ (g/s), PM _{2.5} (g/s)
VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICE
Dependiente. Polución ambiental tramo 9 tajo Ferrobamba	<u>Fuentes volumétricas.</u> ❖ Erosión eólica de material ❖ Procesamiento del mineral <u>Fuentes de área.</u> ❖ Actividades de transferencia de mineral ❖ Actividades de perforación y voladura Fuentes de emisión no fugitivas ❖ Fuentes móviles ❖ Fuentes de área ❖ Fuentes puntuales	PM ₁₀ (g/s), PM _{2.5} (g/s)



CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1. Antecedentes

La Minera Las Bambas S.A. es titular de la Unidad Minera Las Bambas (U.M. Las Bambas), se ubica en la región Apurímac, en los andes del Sur del Perú, aproximadamente, dista 75 km de la ciudad de Cusco y 300 km de la localidad de Arequipa, entre las provincias de Cotabambas y Grau. La U.M. Las Bambas se dedica a la explotación de yacimientos de mineral de las unidades de Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba, están ubicados sobre la franja de depósitos de Cu (Mo-Au), este yacimiento es tipo Skarn están controlados por el batolito de Andahuaylas-Yauri del Eoceno-Oligoceno.

Para el desarrollo de sus actividades mineras, la U.M. Las Bambas, cuenta con instrumentos de gestión ambiental (IGA) aprobados por el Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles (SENACE), por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), los cuales comprenden del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de la Unidad Minera Las Bambas y sus modificaciones (Primera, Segunda y Tercera MEIA), e informes técnicos sustentatorios (ITS).

Actualmente la U.M. Las Bambas cuentan con un plan de minado aprobado en la Tercera MEIA y rectificado en su 1er ITS de la Tercera MEIA. Este plan de minado comprende un total de mineral a extraer de los tres tajos de 800.328 Mt.

La unidad minera Las Bambas ha realizado la actualización de su cálculo de emisiones atmosféricas, considerando modificaciones en el plan de minado específicamente para los años 2020, 2021 y 2022. Las modificaciones están relacionadas principalmente a los siguientes aspectos: Incremento del movimiento de material, incremento de la flota minera, incrementos distribuidos principalmente en camiones mineros, dicha actualización tiene como misión reducir la contaminación generada por el polvo presente, esto afecta al medio ambiente, reduce la visibilidad en los conductores de vehículos, donde las vías son regadas frecuentemente, mediante tanques cisterna que circulan constantemente por dichas vías, la cual son muy insuficientes en la actualidad.

a) A nivel Internacional

MORAGA, RIVERA, Y SOTO, M. (2010), en su investigación titulada: “Evaluar y proponer la disminución de material particulado en la planta de chancado



secundario terciario en división el teniente de Codelco Chile”. Cita como objetivo: Identificar las causas de emisiones explosivas en la planta de chancado y generar los lineamiento y medidas que permitan la disminución, control y mitigación de las mayores emisiones en la planta de chancado secundario terciario, en su resultado indica que las explosiones de polvo ocurren en diferentes sectores o áreas. En sus conclusiones hablan sobre la legislación laboral vigente, relacionado a la seguridad y salud ocupacional, para que las empresas cumplan con los requisitos de implementos de accesorios, de equipos y herramientas, para que puedan ejecutar una tarea en forma segura y saludable. Así mismos establecer los requerimientos sobre las condiciones de trabajo saludable, donde se deben mantener los máximos permisibles y que se controlen a la exposición de polvo en sus trabajadores.

ALVIS (2012), en su tesis de Maestría “Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos Carbonífero del departamento del Cesar”, toma como objetivo; Evaluar la efectividad de las medidas de manejo ambiental en la mitigación de los impactos generados por las emisiones de material particulado, sobre la calidad del aire en el área de influencia de los proyectos carboníferos de la Zona Centro del Departamento del Cesar con el fin de establecer oportunidades de mejora. menciona que las concentraciones de polvo de PM_{10} , tomando en cuenta para periodos de 24 horas, se llega a los siguientes resultados; presenta un comportamiento casi similar a las partículas totales suspendidas (TSP), por lo que se ratifica que hay una estrecha correlación entre las dos variables estudiadas. En el análisis temporal en las estaciones urbanas, presenta un comportamiento diferenciado por las condiciones meteorológicas donde los picos más altos corresponden a los meses más secos del año, donde hay lluvias. Sin embargo, en conclusión, señala, que todas las estaciones de fondo urbano, estos se mantienen por debajo del límite anual establecido por la norma ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir de enero de 2011).

ANGULO HUERTAS Y RESTREGO (2011), en su investigación “Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM_{10}) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto”, considera como objetivo la cuantificación y caracterización de partículas suspendidas (PST) y



partículas respirables (PM10) producidas en áreas de explotación carbonífera a cielo abierto, como resultado indica que el material particulado es un contaminante complejo por sus características físicas (distribución de tamaño de partícula, morfología y densidad) y por sus características químicas (compuestos orgánicos e inorgánicos, metales y contaminantes primarios y secundarios, llegan a las siguientes conclusión: En estudios realizados hasta la actualidad, la mayor parte de los trabajos de investigación publicadas se refieren a la calidad del aire, donde mayormente estudian la contaminación atmosférica generado por las fuentes móviles y las fuentes fijas en zonas de área urbanas. Por otra parte, los trabajos realizados con fuentes fugitivas son muy escasos. En muestra realidad, existen diversos países con extracción a minera de cielo abierto, los cuales emiten grandes volúmenes de polvo fugitivos de material particulado, estos ocasionan un grave impacto ambiental en las poblaciones próximas. Muchos trabajos que han realizado en su estudio es buscar la caracterizar del material particulado ocasionado por los trabajos en mina a cielo abierto como la India, USA y Reino Unido.

b) A nivel Nacional

CARHUAPOMA (2015), en su trabajo de Tesis titulada: “Propuesta de implementación de un sistema de mitigación de polvo en el proceso de chancado de mineral de la planta chancadora de Shougang Hierro Perú S.A.A.”, cuyo objetivo principal es plantear una propuesta para la Implementación del Sistema de Mitigación de Polvo en la Planta. con la finalidad de mejorar la calidad del proceso y mejorar el medio ambiente y a la salud de los trabajadores, llegando a cuatro conclusiones generales, también es citada por Yabar (2020) Primero: En el trabajo se ha determinado los parámetros para el nuevo diseño para mitigar el polvo para la planta chancadora de SHOUGANG HIERRO PERÚ S.A.A., lográndose una eficiencia al 99.9% con este proceso planteado, de esta forma tener mejor cuidado al medio ambiente y la salud de sus trabajadores.

YABAR (2020), en su investigación titulada “Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás - Marcona”, cuyo objetivos fue “reducir y minimizar la efusión ambiental y exposición a agentes químicos (gases) por el sistema de mitigación de polvo producido por hierro en la Planta Chancadora del área beneficio San Nicolás de la Empresa Minera Shougang



Hierro Perú S.A.A.”, la metodología es con el personal expuesto a la presencia de los polvos generados en 15 trabajadores, estos se han monitoreado constantemente, se programó para el personal de operadores de Equipos de Planta, mantenimiento mecánicos y eléctrico, con equipos de monitoreo en puntos fijos de material particulado de PM₁₀, los resultados a los que se llegaron fueron: Se determinaron que el Sistema de Mitigación de polvo del mineral hierro es muy eficiente para la reducción de polución de polvo y exposición ocupacional en la Planta Chancadora del área beneficio San Nicolás Empresa Minera Shougang Hierro Perú S.A.A

SAGASTEGUI (2014), en su Tesis “Cuyo objetivo es proponer reducir las emisiones de polvo fugitivo en el proceso productivo de la Empresa Cementera”, llega a las siguientes conclusiones. En el análisis del proceso productivo en cementera, es claro la contaminación ambiental, pese a que existen normas de control de polvo, siempre existen cantidades pequeñas de contaminación. El polvo fugitivo al aire es una de ellas, se presentan por diversas actividades y tienden a escaparse del sistema de control de contaminación. Estos polvos segregados suelen ser de poca importancia con comparación con otros gases contaminantes; por otro lado, a medida que se generan, se elevan los costos a lo largo del tiempo, por consiguiente, el polvo fugitivo es dañino para la salud de los trabajadores, para la operación de máquinas y equipos.

Se concluye que el polvo es un problema para la salud, al inhalarlos ingresan al sistema respiratorio ocasionando problemas en la salud en los trabajadores, se estima por estudios un aproximado de 68% de la población está sometido a los efectos respiratorios por contaminantes presentes en el aire, esto indica que se debe tener presentes al polvo como una agente importante para controlar la generación del contaminante.

PACHECO (2020), en su Tesis “Diseño de un sistema para el control de polvo en plantas de agregados en Arequipa”, donde el objetivo principal el trabajo es realizar un diseño de sistema para el control de polvo, para reducir las concentraciones que se generan en la planta de agregado en su proceso productivo.

Para este trabajo se ha aplicado un método de comparación de tres alternativas distintas, realizando la ponderación de cuatro parámetros basados en el costo de inversión, complejidad del diseño, en el mantenimiento y la seguridad laboral. Como resultado para la selección del sistema de mitigación de polvo mediante la instalación



de aspersores para los puntos donde se producen mayor cantidad de material particulado.

El estudio permitió concluir que la instalación del sistema de aspersores de agua reduce en forma eficiente la generación de polvo en el medio ambiente, de tal manera se proteja la salud de los trabajadores.

VARGAS (2013), en su tesis “Determinación del modelo matemático para calcular tiempo efectivo de riego en vías mineras de la Unidad Minera Anabi SAC” donde le objetivo es determinar el tiempo óptimo de regado de vías bajo un modelo matemático considerando parámetros ambientales y las condiciones físicas de las vías.

Para concluir este presente trabajo, con sus complicaciones de información escasa y específica sobre tiempo efectivo de riego en vías no pavimentadas ni asfaltadas, encontrando solo tópicos como supresores de polvos, aditivos para el riego, mas no un modelamiento básico para poder programar el riego, ya sea por cuestiones ambientales y/o operativas, abre las puertas para poder ampliar estudios y realizar diversos modelamientos o programas de acuerdo a los objetivos puntuales que se puedan trazar; muchas de las limitaciones o ausencia de información pueden variar para un futuro estudio.

c) A nivel regional

A nivel regional no existe ninguna Tesis y/o trabajo de investigación relacionado al sistema de mitigación de polvo en la Región de Apurímac.

3.2. Marco teórico

3.2.1. El polvo

El polvo es un conjunto de pequeñas partículas de 1 a 100 micrones de diámetro, capaces de permanecer temporalmente en suspensión el aire (VENTIUS, 2016).

El polvo es un material sólido finamente dividido, el cual, dependiendo del tamaño de sus partículas, de su concentración y su composición, puede constituir un peligro tanto para la salud del personal como la seguridad de la operación en lo que se refiere a visibilidad entre otros.

Propiedades del polvo, se ha utilizado una serie de parámetros para describir o definir el polvo, siendo los más importantes los siguientes:



- Número de partículas por unidad de volumen.
- Tamaño y distribución de las partículas.
- Masa de polvo por unidad de volumen de aire.
- Área superficial de las partículas por unidad de volumen.
- Composición química del polvo.
- Naturaleza mineralógica de las partículas.

Una de las propiedades más importantes del polvo de minas es su distribución granulométrica, ya que será el tamaño de las partículas sólidas el que determine el tiempo que estas permanecerán en suspensión en la atmósfera y la forma en que finalmente se asentaran” (VERA, 2016).

3.2.2. Material particulado

“Se define al conjunto de partículas sólidas y/o líquidas presentes en la atmósfera, se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas” (MESZAROS 1999; MOSQUEIRA 2019).

“El material particulado, es un conjunto de partículas compuestos por sólidos y líquidos presentes en el aire, el hollín de diésel, polvo de vías, y las partículas resultantes de procesos productivos entre otros” (FANG ET AL., 2006).

3.2.3. Polvo de mina

Un estudio realizado y publicado por VENTIUS (2016), indica que: “El polvo de mina, es un polvo emitido que tiene su origen en la disgregación de las rocas durante su preparación, o en el levantamiento de partículas de los caminos durante los procesos de transporte (camiones pesados). Puede ser producido durante una voladura. A su vez, si procede de minería subterránea, se emitirá a la atmósfera a partir de uno o varios puntos definidos: las chimeneas de ventilación y los pozos de circulación de aire. Si procede de explotaciones a cielo abierto, provendrá de todo un frente de explotación, más o menos extenso (decenas de metros de longitud). En cualquier caso, es prácticamente imposible evitar su emisión, puesto que afectará, por principio básico, a roca seca, sin posibilidad de un humedecimiento rápido que evite la dispersión. Solo en la minería subterránea podría evitarse su salida, mediante filtros en los puntos de salida. Desafortunadamente tales filtros tienden a ser evitados para favorecer la rapidez

de la limpieza del polvo generado en el interior de la mina durante la voladura. La composición de este polvo será la misma que la de la roca volada, con lo que a menudo se tratará de roca con componentes minerales "problemáticos", conteniendo minerales oxidables, con metales pesados, etc. Puede ser el polvo generado durante el proceso de carga. En este caso puede ser más sencilla su retención, simplemente mediante el regado de los frentes de carga durante el proceso. La composición es la misma que en el caso anterior, es decir, la correspondiente a la de la mineralización y/o su roca de caja. Otra posibilidad corresponde al polvo generado durante el proceso de transporte, en su doble vertiente de polvo que pueda escaparse del elemento de transporte (camión o cinta transportadora, fundamentalmente) y polvo levantado por el medio de transporte (solo en el caso de los camiones). En el caso de los camiones, se produce una mezcla entre partículas procedentes del yacimiento y las procedentes de la pista, aunque en ambos casos es relativamente sencillo evitar parcialmente el problema cubriendo adecuadamente la caja del camión (problemático en los de mayores dimensiones), o regando la carga, así como mediante el riego continuo de la pista de rodadura. En el caso de las correas transportadoras, hay que trabajar también con material humedecido, o recurrir a instalaciones de mayor coste, cerradas para evitar los escapes de polvo. Otra fuente muy importante de polvo son los procesos de molienda. Aquí es fundamental disponer de una instalación adecuada que evite en lo posible los escapes de polvo, puesto que no suele ser posible trabajar con material húmedo, al menos en las instalaciones convencionales". (p.5)

Tabla 2 — Tamaño de partículas de polvo

Agentes en el aire	Límites máximos permisibles
Polvo inhalable	10 mg/m ³
Polvo respirable	3 mg/m ³

Extraído de: Decreto Supremo N° 015-2005-SA

3.2.4. Fuentes de generación del polvo

Las emisiones de polvo a la atmósfera proceden de distintas fuentes:

- a) **“Voladura y arranque.** Es una fuente muy importante de este contaminante, puesta que normalmente se lleva a cabo sobre roca seca, lo que facilita aún más el desprendimiento del polvo. En este caso es más sencillo de evitar o

controlar, puesto que durante el proceso se puede proceder al regado del material.

- b) **Transporte.** Si se realiza mediante cinta transportadora el viento podrá levantar y arrastrar un volumen significativo de polvo, si no se evita mediante el humedecimiento del material transportado, o utilizando cintas cerradas. Si el transporte es en vehículos se puede producir una doble misión de polvo: la relacionada con el escape de polvo procedente de la propia carga, y el polvo levantado durante la rodadura del vehículo. Ambos son relativamente sencillos de controlar, en un caso recubriendo la carga, en el otro regando las pistas de rodadura.
- c) **Molienda.** Es otra de las fuentes más importantes de este elemento, puesto que como el arranque (voladura de roca) por lo general se realiza en seco. Por otra parte, se puede llevar a cabo dentro de edificaciones realizadas al efecto, lo que permite evitar la dispersión generalizada de polvo que se genera.
- d) **Disposición en escombreras.** El volcado del estéril (u otros productos) en escombreras produce una emisión inmediata, durante el propio proceso de descarga, y un riesgo potencial de emisión, si la escombrera no se trata de alguna forma para prevenir que el viento levante polvo de la misma.
- e) **Metalurgia.** El tratamiento metalúrgico de menas puede llevarse a cabo de distintas maneras, siendo las más comunes la pirometalurgia (descomposición térmica de los minerales o tostación) y la hidrometalurgia (descomposición del mineral en medio acuoso, mediante reactivos específicos que permiten la separación del elemento de interés minero). En el primer caso se suele emitir a la atmósfera gases y partículas, mientras que en el segundo caso las emisiones pueden ser de aerosoles que contienen reactivos más o menos tóxicos (e.g. cianuro, ácido sulfúrico), y se puede levantar polvo de las pilas de lixiviación. El particulado emitido por las chimeneas puede ser muy importante en algunos casos.
- f) **Vías de tránsito.** Debido al constante paso de todo tipo de maquinaria por las vías principales generando un gran levantamiento de polvo producto de la mezcla de partículas procedentes del yacimiento y las procedentes de la pista”. (VENTIUS, 2016, y citado por PEREDA Y AYALA 2018).



3.2.5. Impacto de la generación de polvo

“Para Urteaga (2016), citado por Pereda y Ayala (2018), manifiestan que las características del polvo que afectan son fundamentalmente la composición y la granulometría. La composición afecta porque determinados minerales contienen metales que a su vez pueden tener efectos tóxicos. Por otra parte, la granulometría es muy importante puesto que las partículas de polvo de tamaño inferior a 10 micras (denominadas PM_{10}) entran en el sistema respiratorio alcanzando los pulmones, donde pueden quedar acumuladas y generar grandes daños al sistema respiratorio (e.g. silicosis). Las partículas menores de 2,5 micras (denominadas $PM_{2.5}$) son aún más peligrosas, ya que se mantienen en suspensión en el aire, lo que permiten que se desplacen muy largas distancias”. (p. 68) “Por otra parte, Martínez, et al., (2010), citado por Yabar (2020), las partículas de dimensiones menores se pueden mantener por lapsos más largos que las de mayor tamaño, las de menor dimensión cuentan con un mayor tiempo de residencia en la atmósfera, es decir, a pesar de que todas se inclinan por sedimentarse, en cuanto a la energía de sustentación o disminuye lo necesario o cesa. Por consiguiente, las de tamaño inferior a 2.5 mg/m^3 presentan los mayores tiempos de residencia, con diferencia respecto a las de mayor tamaño, causado afecciones en especial a la salud pues las partículas con tamaño inferior a 10 mg/m^3 pueden tener un alcance en las zonas más profundas del sistema respiratorio. Las partículas con mayor tamaño a su vez se retienen en el tracto respiratorio, de acuerdo a esta comparación las partículas de menor dimensión ocasionan mayores daños a la salud. Por otro lado, las partículas con dimensiones menores se originan de manera casi exclusiva por la realización de procesos de combustión, por ende, se asocian a la contaminación urbana o proveniente de las industrias. La composición ocupa una gran importancia ya que ciertas partículas pueden generar efectos nocivos para la salud. Ciertos asbestos pueden ocasionar asbestosis, mientras que la sílice puede originar silicosis. Las partículas pueden estar compuestas de metales pesados que pueden producir ciertos padecimientos como saturnismo por el plomo en el proceso de combustión de gasolina o hidrargirismo por el mercurio”. (p.20)



Tabla 3 — Niveles permisibles de la calidad del aire

Parámetros	Concentración media aritmética diaria $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Concentración media aritmética anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)	Concentración media geométrica anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppm)
Anhídrido sulfuroso	572 (0.2) *	172 (0.06)	-
Partículas en suspensión Plomo	350*	-	150
Plomo	-	0.5	-
Arsénico	6	-	-

Extraído de: URTEAGA (2016)

(*) No debe ser excedido más de una vez al año, por otro lado, se debe considerar:

- Concentración al mes de Plomo = $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Concentración de Arsénico en un tiempo de 30 minutos = $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (esto no debe exceder más de una vez al año).

A su vez, para el calor el límite máximo permisible, para conservar la calidad del aire está establecido en la normativa nacional es de $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para las partículas de polvo en suspensión, con una concentración promedio diaria, haciendo monitoreos de partículas PM_{10} , en un punto fijado por el PAMA la concentración no debe superar este límite de calidad del aire, para ello se debe tomar medidas de control para reducir.

3.2.6. Enfermedades ocasionadas por la inhalación de polvo

“Según estudios realizados por HESPERIAN (2011), menciona sobre las enfermedades que ocasiona el Polvo menciona al inhalar a los pulmones es debido al polvo mineral y de las rocas, es un problema gravísimo, y puede desarrollar daño pulmonar si:

- El polvo cubre su ropa, cuerpo y equipo cuando trabaja.
- Tiene mucha tos y dificultad en respirar.

Una vez que el polvo ha dañado los pulmones, no hay una forma de revertir el daño. El polvo es una amenaza tanto para los mineros como para las comunidades cercanas a la mina. Los polvos más peligrosos son el polvo de carbón, que

ocasiona la enfermedad del pulmón negro (neumoconiosis) y el polvo de sílice que causa la silicosis. El polvo que contiene asbesto o metales pesados es también peligroso. El polvo de las minas puede dificultar la respiración. Grandes cantidades de polvo pueden hacer que los pulmones se llenen con fluido y se hinchen. Las señas del daño del pulmón debido al polvo incluyen:

- Dificultad para respirar, tos, silbidos
- Tos con esputo verde o amarillo (moco que proviene de los pulmones)
- Dolor de garganta
- Piel azulada de las orejas o labios
- Fiebre
- Dolor de pecho
- Pérdida de apetito
- Cansancio

Las enfermedades del pulmón negro y silicosis, así como asbestosis, son enfermedades graves que no tienen cura. Es mejor evitar la exposición al polvo dañino. Debido a que estas enfermedades empeoran muy rápido, en el momento que se presentan las señas todo lo que se puede hacer es evitar que ésta empeore. Si tiene alguna de las señas de arriba, o se ha expuesto a estos tipos de polvo, consulte con un promotor de salud inmediatamente. Debido a que fumar aumenta en gran medida el riesgo de daño de pulmón por el polvo, es particularmente importante que los mineros no fumen tabaco”.

Tabla 4 — Tamaño de partícula atrapados

Equipos	Rango de partículas en micrones
Precipitadores electrostáticos	0.01 - 90
Torres empacadas Filtros de papel	0.001 - 100
Filtros de tela	0.005 - 8
Lavadores de gases	0.05 - 90
Separadores centrífugos	0.05 - 100
Cámaras de sedimentación	5 - 1000

Extraído de: HESPERIAN (2011)

3.2.7. Equipos para el control de contaminantes

a) Ciclones

“Son equipos de recolección de polvo que se usan con mayor frecuencia, estos ciclones remueven el material particulado de la corriente gaseosa, basándose en el principio de impactación inercial, generado por la fuerza centrífuga. Son adecuados para separar partículas con diámetros mayores de 5 μ m con eficiencias hasta del 90%; aunque partículas muchos más pequeñas, en ciertos casos, pueden ser separadas” (ECHEVERRI ,2006).

b) Multiciclones

“Son, básicamente, un conjunto de pequeños ciclones de alta eficacia, reunidos en un colector común. Al igual que los ciclones ordinarios, separan las partículas del gas a tratar mediante el centrifugado del mismo. La eficacia de los multiciclones para polvo con partículas entre 80 y 120 micras es del 95 al 98%.” (MEJÍA Y OVIEDO, 2006).

c) Lavador Venturi

“El lavador inyecta chorros finos de líquido (generalmente agua) a alta velocidad en la estricción de un Venturi, el líquido se atomiza y se mezcla con la corriente de gases en la zona de expansión. Los lavadores Venturi pueden alcanzar el 99% de eficiencia en la remoción de partículas pequeñas. Sin embargo, una desventaja de este dispositivo es la producción de aguas residuales Las eficiencias de recolección de los depuradores tipo Venturi

varían del 70 a más del 99 por ciento, dependiendo de la aplicación. Las eficiencias de recolección son generalmente más altas para la MP con diámetros aerodinámicos de aproximadamente 0.5 a 5 mm.” (MEJÍA Y OVIEDO, 2006).

d) Precipitador electrostático

Este dispositivo de control de partículas utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera de la corriente de gas y sobre las placas del colector. A las partículas se les da una carga eléctrica forzándolas a que pasen a través de una corona, una región en la cual fluyen iones gaseosos. El campo eléctrico que fuerza a las partículas cargadas hacia las paredes, proviene de electrodos que se mantienen a un alto voltaje en el centro de la línea de flujo. La eficiencia de estos equipos depende de factores como la humedad de los gases del efluente, la resistividad de la mezcla del gas, partículas, etc. Permite tratar grandes flujos de gas a altas temperaturas y posee buena eficiencia para la recolección de particulado fino.” (MEJÍA Y OVIEDO, 2006).

e) Filtros de mangas

“Su función consiste en recoger las partículas sólidas que arrastra una corriente gaseosa haciéndolas pasar a través de un tejido, compuesta de material fibroso que tiende a retener las partículas y los arrastra hacia los filtros” (MEJÍA Y OVIEDO, 2006).

f) Sistemas de riego por aspersores

El autor relata que los sistemas de riego por aspersores son:

“Equipos de riego por aspersores, funciona en las plantas de trabajo como en los caminos que recorren los camiones. Asimismo, se podría tener que ordenar una pausa en las actividades de transporte fuera y dentro de las minas si no hay suficiente claridad en las vías. Para mejorar la claridad en las vías se suelen implementar sistemas de riego por aspersión en los laterales de las vías. En otros casos, se utilizan camiones cisternas con accesorios que simulan este efecto. Los estudios demuestran que se puede aliviar en un 40% la presencia de polvo en las vías a través de este método. Además, los sistemas de riego en red tienen un mejor desempeño ante el ahorro de agua”. (SAAVEDRA 2015).





Figura 1— Sistema de riego por camiones

Extraído de: SAAVEDRA 2015

3.2.7.1. Cañones pulverizadores de agua

Dentro de la minería superficial, el autor define:

“Este tipo de dispositivos funcionan expulsando el agua a una presión de 230 PSI en promedio, producen gotas de agua de aproximadamente 90 micras, por ende, se logran atrapar partículas 40% más pequeñas que en el sistema de aspersión tradicional. Con estos sistemas de riego se puede mejorar en 80% el control de polvo. Asimismo, se puede asegurar una humedad más pareja sobre el suelo y evitar la generación de charcos y barro. Adicionalmente, se pueden usar esas redes para esparcir polímeros líquidos o algún otro aditivo que mejore el control de polvo. Por otro lado, se puede mencionar que los pulverizadores de agua usan el agua de manera más eficiente. Comparados con los sistemas de riego por aspersión tradicionales se puede lograr un 20% de ahorro en litros de agua” (Saavedra 2015).



Figura 2— Cañones pulverizadores de polvo

Extraído de: SAAVEDRA 2015

3.2.7.2. Sistemas de colectores de polvo

Una descripción en el estudio de MORAGA, RIVERA Y SOTO (2010), citado por YABAR (2020) mencionan lo siguiente:

“En CODELCO – Chile, en particular en la Planta de Chancado Secundario Terciario hace la descripción de 19 colectores de polvo operativos, 13 son del tipo “Aeromix Wet Scrubbers” y 6 del tipo “Rotoclone”, siendo todos de extracción localizada, es decir que las campanas de captación de estos colectores se ubican y están diseñadas para capturar el polvo introducido en los principales sectores donde se genera la emisión de este material de partículas tales como las tolvas de transferencia, las fajas transportadoras y los chutes de descarga. El polvo recolectado es transportado a un equipo de tratamiento en donde se procede a suministrar el agua, contribuyendo a que el polvo se agrupa y pueda transportarse a través de canales bajo la tierra siendo transportado por el agua, concluyendo en una canaleta que lo conducirá hasta la Planta de Tratamiento de Relaves (PTR) en la que se les realizará el tratamiento y la recuperación adecuada a estos minerales.

Desde otro aspecto, a su vez nos señala que estos colectores de polvo deben mantener funcionando de forma permanente, a excepción de casos de emergencia como incendios o roturas de la canal de pulpa por el mantenimiento de manera programada de la planta de Chancado o del Colecto de polvo. Todos los colectores de polvo necesitan contar

con un programa de mantención tanto mecánica como eléctrica, añadiendo deben funcionar en un rango de trabajo determinado, para esto el operador deberá realizar un ajuste dentro de las especificaciones exigidas y mantener un registro de los datos que se precisan para el procedimiento. Las características del material particulado durante el proceso de chancado constituyen partículas pesadas de gran diámetro, los cuales sedimentan cerca de la fuente, es decir, dentro del área de la planta. Los factores que inciden principalmente en la emisión de material particulado son la humedad de la roca, el contenido de los finos, el tipo de equipos involucrados y su mantenimiento, en las prácticas de operación como: la altura de descarga de los materiales desde las fajas, apilamientos, ocurrencia de derrames, la superficie expuesta, altura de las pilas de acopio, y las condiciones climáticas como la dirección y velocidad del viento u ocurrencia de precipitaciones. Las partículas se comportan tanto en partículas en estado sólido o líquido que se encuentran suspendidas en la atmósfera, si son emitidas al aire, están caracterizadas según fracciones de tamaño bien sea grandes o finas, correspondiendo al PM75 siendo el material particulado bajo 75 micrones, este puede ser transportado por el viento, el PM10 que corresponde a 10 micrómetros de diámetro y que puede ser material de partículas respirables y el PM2.5, los cuales pertenecen a partículas finas de 2,5 micrómetros de diámetro e incluso menores”.

(p.22)

3.2.8. Sistema de mitigación del polvo Empresa Minera Las Bambas

Un factor clave en la operación de la Empresa minera las Bambas, está relacionado al cuidado del medio ambiente laboral y en la salud de sus trabajadores, en la zona de estudio se tiene un periodo de lluvias de aproximadamente 4 meses y se tiene un periodo seco de 8 meses en los cuales es necesario el control de polvo en las vías.

El sistema de mitigación actual es la suprimir el polvo, utilizando el riego con agua por todas las vías de transporte en la Unidad Minera Las Bambas, mediante 4 Cisternas KOM HD1500 propias y una cisterna CAT 740B alquilada a la empresa EPSA, las cuales resultan insuficientes para cubrir los 24.34 Km de vías



mineras que tiene el Tajo Ferrobamba. En el grafico 1 se muestran las vías mineras actuales.

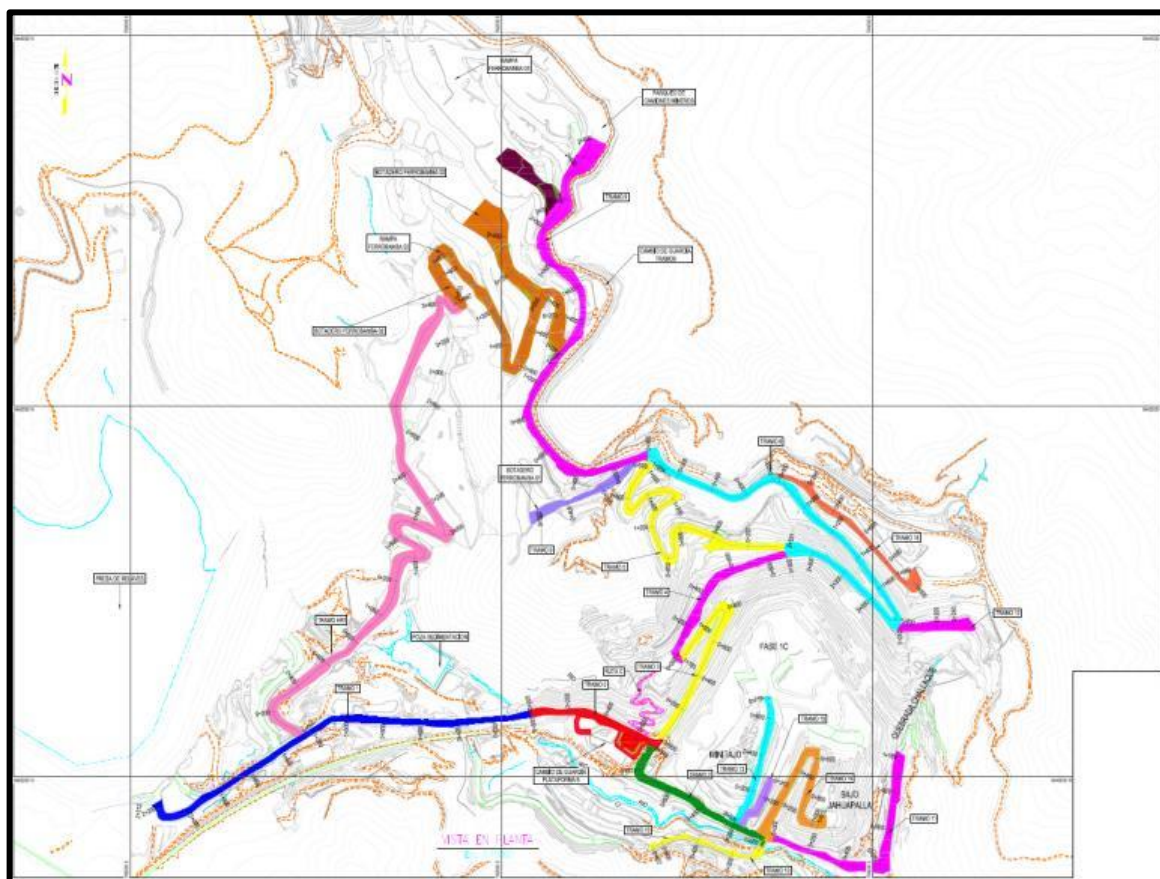


Figura 3— Vías Tajo Ferrobamba - Minera las Bambas

Extraído de: Área Geología Minera las Bambas

3.2.9. Sistema de mitigación de polvo propuesto riego automático mediante aspersores

Para evitar que la contaminación generada por el polvo, afecte el medio ambiente y la visibilidad en la conducción de vehículos, las vías en mina son regadas frecuentemente, mediante unos camiones cisterna que circulan constantemente por dichas vías.

Se plantea un sistema automático de supresión de polvo, mediante cañones aspersores capaces de cubrir una gran área de una lluvia de agua uniforme y poco tiempo. Los cañones están dispuestos al costado de la vía, sobre el talud de protección.

Instalación de cañones supresores de polvo



Figura 4— Instalación de cañones supresores de polvo
Extraído de: Unidad Minera las Bambas

3.2.9.1. Características de la vía y aspersores

Características generales:

- Longitud de la rampa: 3900 m
- Desnivel de la rampa: 170 m
- Distancia entre cañones: 80 m
- Presión mínima de línea: 55 PSI
- Presión máxima de línea: 75 PSI
- Radio del chorro: 34 – 40 m
- Tiempo aproximado del ciclo: 30 min
- Consumo aproximado agua por hora: 60.4 m³/h



Figura 5— Funcionamiento de los cañones supresores de polvo

Extraído de: Unidad Minera las Bambas

La frecuencia de operación se establece mediante un PROGRAMA DE RIEGO para cada tramo, en donde se podrán variar los tiempos de aspersion, zonas con prioridad, etc., teniendo en cuenta la estacionalidad, flujo de vehículos y condiciones climáticas.

Los tanques se ubicarán en la cabecera del tramo de vía a regar, ganando presión de modo natural por la altura o en todo caso se realizará mediante bombas de acuerdo a las ubicaciones y captaciones de agua presentes en la mina. En los casos en que el desnivel sea demasiado pronunciado, se emplean válvulas reductoras de presión, así se asegura de estar siempre dentro de un rango de presión: 3.5 – 5 kg/cm² (55 – 75 PSI). El alcance de los cañones varía entre los 33 y 40 metros de radio, de acuerdo a la presión de agua en la línea.

Para facilidad del montaje y cumpliendo estándares se emplean tuberías en HDPE de 6 pulgadas

SDR 9 dependiendo la zona. Además, todos los componentes soportan rangos de temperaturas desde los -20 a 50°C.

En las épocas de friaje, existe el riesgo de congelamiento del agua dentro de las tuberías, cañones y válvulas, para evitar este hecho y por consiguiente que los equipos se deterioren el sistema contempla la purga del agua dentro de la tubería de manera automática una vez que se ha concluido el programa de riego. Al final del ciclo automáticamente se drena el agua mediante válvulas dispuestas a lo largo del tramo.

Cada cañón cuenta con una electroválvula para su accionamiento, de acuerdo al programa de control que se ejecute, se pueden seleccionar los cañones y las frecuencias de acuerdo a las necesidades, son flexibles, pudiéndose modificar cuantas veces se desee.

3.3. Marco conceptual

a) Polvo

Podemos definir al polvo como un agente que ocasiona malestar en los trabajadores, está conformado por partículas microscópicas de diámetros variados, que están en movimiento inestable, suben bajan y otros impregnado en las paredes y techos en la labores subterráneas, el minería superficial está presente en el aire atmosférico, impregnados en ambientes de trabajo, estos polvos que se presentan, generalmente están compuestos por varios minerales, como metálicos y no metálicos, para cuantificar se expresa en números de partículas por pie cúbico de aire, como miligramos de polvo por metro cúbico de aire, otra forma de expresar es en peso por volumen de aire, o en micrones.

b) Polvo en las minas

El polvo en las minas ocurre mayormente por acción de trabajos, como podemos mencionar en la voladura, en las perforaciones, en plantas de chancado, en las moliendas, en la circulación de transporte de materiales, entre otros, el polvo es una partícula finamente solidó, su accionar frente a los trabajadores es del tamaño de las partículas, su concentración en el ambiente, su composición química, de estos

factores depende su peligro para la salud del personal que labora, también es muy importante para la visibilidad en la operación en ambiente subterráneo y superficiales. Todas operaciones en la se genere polvo, deberá mantener el lugar evitando la formación del polvo y utilizando medidas preventivas, como la ventilación, la humectación, equipos de reducción de polvo, en lo posible por mantener una concentración mínima en el aire, evitar la suspensión de partículas en el aire y lugares de trabajo.

c) Origen de polvos en las minas

Según menciona YABAR (2020), en su trabajo de tesis indica, que el origen del polvo es debido a: “El polvo es generado por distintas fuentes como las plantas de chancado, las tolvaneras y otros procedimientos de fabricación. Estas partículas son medidas por sus dimensiones y clasificadas como tóxicas en caso que produzcan alguna reacción en el cuerpo humano o en animales y plantas. La actividad minera origina un conjunto de emisiones hacia la atmósfera las cuales se manifiestan en distintas formas. Desde sólidas, partículas de polvo que pueden aparecer tras las voladuras, el transporte y la carga, gases con la piro -metalurgia o los escapes de vehículos. Un factor a destacar se trata de la minería subterránea, en la misma se procederá a emitir mediante uno o distintos puntos conocidos como chimeneas de ventilación o pozos de circulación del aire, el polvo o las partículas del mismo hacia la atmósfera. De cualquier manera, se plantea como poco posible que se evite su emisión, ya que esto perjudicará de manera principal a la roca sin que haya la posibilidad de humedecer con rapidez para evitar que se disperse.

Exclusivamente en la minería subterránea será posible evitar su fuga a través de filtros ubicados en los puntos de salida. No obstante, estos filtros se evitan por lo general para favorecer la rapidez de la limpieza de las partículas de polvo que se genera dentro de la mina en el proceso de la voladura. Los componentes de este polvo que se produce en el interior de la mina se tratan de los mismos de la roca volada, por lo que se trata de roca volada, con compuestos minerales que, al contener minerales oxidables, poseen metales pesados, entre otros. El polvo que se genera durante el proceso de transporte entra en las posibilidades de que este elemento se fugue. Tanto en camiones como en el caso de las fajas transportadoras, en el primer caso se produce una unión entre las partículas que proceden del yacimiento y de la pista. (p.17-18)



d) Estándares de la calidad del aire

Los Estándares de la Calidad del Aire comúnmente conocidos como ECA, se refiere a los niveles de máxima concentración permisibles en los contaminantes en el aire, esta concentración es debido a la situación del receptor, los Estándares recomiendan no exceder en el límite permisible, para evitar el riesgo que puede ocasionar a la salud. Estos estándares de calidad de aire, protegen en la salud de los trabajadores, se aprobaron por primera vez en nuestro medio con el (D.S. 074-2001- PCM, 2001).

En el año 2017, se aprobó la normativa en materia de ECA para el Aire, con el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, quedando establecidos los siguientes parámetros:

- Material particulado con menor a 10 micras (PM₁₀).
- Material particulado con menor a 2,5 micras (PM_{2.5})
- Monóxido de carbono {CO}
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Ozono (O₃).
- Plomo (Pb) en (PM₁₀).
- Benceno (C₆H₆).
- Mercurio Gaseoso Total (MGT).
- Sulfuro de Hidrógeno (H₂S).

Según BARTUAL Y BERENGUER, (2012, p.41), y citado por YABAR (2020) “Los ECA son referencia obligatoria en el diseño y aplicación de las políticas ambientales y de las políticas, planes y programas públicos en general”. (D.S. 003-2017-MINAM)” (p.32)

e) Estándares de calidad ambiental (ECA)

Los Estándares de calidad ambiental (ECA), son normados por el Ministerio del Ambiente. Establecidos por el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, donde establecen los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el material particulado.



Tabla 5 — Estándares Nacionales de Calidad del Aire

Parámetros	Período	Valor [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Criterios de evaluación	Método de análisis
Material Particulado con diámetro menor a 2.5 micras (PM _{2.5})	24 horas Anual	50 25	No exceder más de 7 veces al año Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (Pm ₁₀)	24 horas Anual	100 50	No exceder más de 7 veces al año Media aritmética anual	Separación inercial/filtración (Gravimetría)

Extraído de: Decreto supremo N° 003-2017-MINAN

f) Contaminación ambiental

AGUILAR en el año (2006), da a conocer sobre la contaminación ambiental y es mencionado por YABAR (2020), “la contaminación del ambiental debe asumirse como la presencia en el ambiente de cualquier tipo de agente, bien sea de carácter físico, químico o biológico e incluso de la combinación de distintos agentes en lugares, formas y concentraciones que constituyan un agente nocivo para la salud o el bienestar de la población o el mundo vegetal o animal.” (p.33)

Cuando nos referimos a la contaminación ambiental, podemos indicar como la alteración del medio natural, ocasionando daños nocivos a los seres vivos que habitan en los lugares, esta alteración del medio ambiente es debido a muchas acciones del ser humano como la descarga de desechos sólidos, la basura que se produce a diario, los elementos químicos afectan terriblemente a nuestro ambiente, otros desechos líquidos y gaseosos que alteran más. Nuestro medio ambiente no está preparado para recibir cantidades grandes volúmenes de contaminantes, por lo que cada vez es un daño es irreversible e irreparable.

Existen varias Organizaciones como las Naciones Unidas (ONU), que creó el (PNUMA) Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente que se encarga de controlar, proveer las actividades referentes al medio ambiente para de esta forma crear conciencia sobre el cuidado a nuestro medio ambiente.

g) Contaminación del aire

Es la presencia de materias o sustancias en el aire, que ocasionen riesgos, daños o molestias a las personas, también al medio ambiente, a la naturaleza. La contaminación atmosférica del aire se relaciona a las alteraciones, que tiene efectos hacia los seres vivos y los elementos materiales presentes, estos contaminantes provienen de procesos industriales por la combustión, como las industrias, los automóviles que transitan diariamente (BERMÚDEZ, 2010).

h) Polución ambiental

La Polución ambiental, es la dispersión de agentes (físico, químico y biológico) también por la combinación de diversos agentes presentes en el aire que forman concentraciones que son nocivos para la salud, y bienestar del trabajador, de la población, o bien, que puedan ser nocivas para la vida vegetal o animal.

i) Partículas PM₁₀

Se define al material particulado con diámetro igual o inferior a las 10 μm . Pueden ser partículas sólidas o líquidas de polvo, partículas metálicas, cemento o polen, cenizas, hollín, en otros, que están dispersas en el aire atmosférico, cuyo diámetro varía de 2.5 y 10 μm (1 micrómetro corresponde a la milésima parte de 1 milímetro). Estas se presentan en forma de aerosoles de polvo, otros por gravedad y peso caen y se depositan en el piso de los ambientes de trabajo.

j) Partículas PM_{2.5}

Material particulado respirable presente en el aire, se puede presentar en forma sólida o líquida (partículas metálicas, polvo, cenizas, hollín, cemento, entre otras) se dividen, según su tamaño, en dos grupos. De diámetro aerodinámico igual o inferior a los 0.1 a 2.5 μm o 2.5 micrómetros, se presentan en nuestro ambiente, estas podemos indicar que son partículas respirables, inhalables, están presente en el ambiente, debido a dos fuerzas, la fuerza que el aire atmosférico ofrece y la gravedad de la tierra que ejerce sobre ella.



k) Suelo de rodadura

El suelo de rodadura se puede definirse como un agregado de partículas sólidas de baja resistencia, también por aire y agua en los poros de su estructura. El estado o calidad del suelo depende de su composición y su estructura, así como la densidad.

l) Tamaño de partículas

El tamaño de partículas y su distribución, interfiere en las demás propiedades, el tamaño de partículas del suelo esta normado por AASHTO T-88, esta clasificación de partículas se hace mediante tamizaje para tamaños sobre 75 μm (sobre malla #200).

Tabla 6 — Rango tamaño de partículas

CLASE	TAMAÑO (mm)
Colpas	> 75
Grava gruesa	19-75
Grava fina	2-19
Finos	< 2

Extraído de: ARADENA 2016

m) Permeabilidad

La permeabilidad es la facilidad del suelo, para hacer pasar a través de sus espacios vacíos un flujo como agua, este depende de la porosidad del suelo, es decir mientras más poros hay y que estén mejor conectados, la permeabilidad es mayor. Asimismo, el grado de permeabilidad del suelo se expresa a través del coeficiente de permeabilidad (k) en unidades de cm/s. Este coeficiente permite determinar la cantidad de agua que percola en un tiempo dado, bajo el cuerpo de agua a través del volumen de suelo.

n) Densidad

La densidad es la relación entre la masa sobre unidad de volumen de los sólidos del suelo y es igual a la densidad de las partículas de este. Los valores presentes de densidad estándar del suelo se encuentran entre 2,6 - 2,7 g/cm^3 .

o) Plasticidad

La plasticidad del suelo determina el efecto que produce la humedad en la deformación y consistencia del suelo. Esta propiedad se enfoca en las partículas de granulometría fina ya que, los suelos granulares se ven menos afectados por la humedad (debido a su alta capacidad de drenaje).

p) Compactación del terreno

Debido al peso de los camiones mineros y a la fricción de los neumáticos, la compactación del terreno cumple un factor fundamental para la retención del agua y mantener las vías húmedas, la composición estratigráfica se da de la siguiente manera.



Figura 6— Estratigrafía de las vías principales - Tajo Ferrobamba

q) Percolación del agua

Propio a la estratigrafía que presenta las vías principales de producción, la percolación del agua va en referencia a la frecuencia de regadío, según lo establecido el tiempo de regadío es de 5 min, aproximadamente 5 medias vueltas con una presión

inicial de 90 psi y presión final 180psi. El agua percolada se retiene en la zona arcillosa y de esa manera mantiene la vía húmeda.

r) Temperatura ambiental

La temperatura ambiental se va monitoreando a tiempo real gracias a la estación meteorológica Tambobamba, la misma que nos sirve para poder controlar la emanación de polvo propio a la incidencia solar.

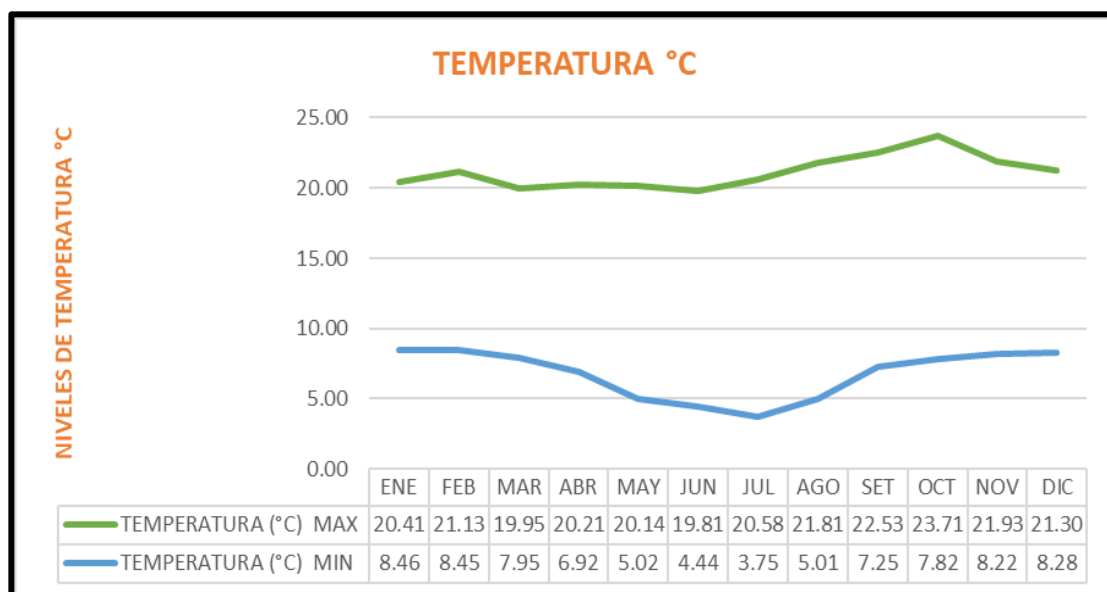


Figura 7— Temperatura ambiental 2021 (Estación meteorológica Tambobamba)

s) Humedad relativa.

Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación).

Los meses más húmedos presentado en el año 2021 son de enero a abril, alcanzando el máximo valor en el mes de marzo con 84.23 % de humedad acumulada.



Humedad relativa 2021 (Estación meteorológica Tambobamba)

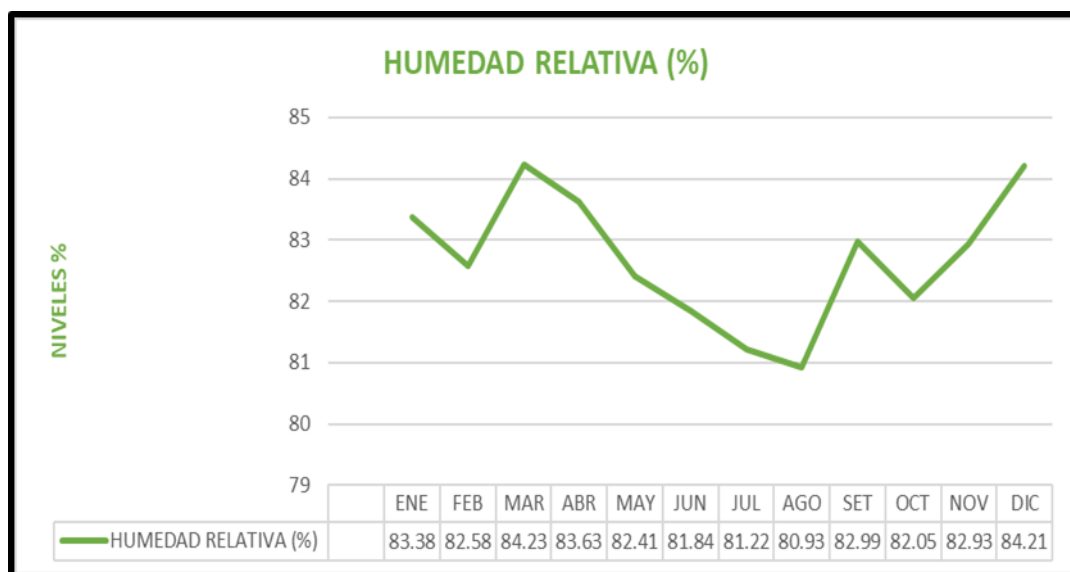


Figura 8— Humedad relativa 2021 (Estación meteorológica Tambobamba)

Formula

$$HR = 100 * E(Td) / E(T)$$

Donde:

HR : Es Humedad Relativa (%)

E (Td) : Es Presión de vapor saturado en el punto de rocío (g/m ^3)

E (T) : Es Presión de vapor saturado (g/m ^3)

t) Precipitación

La precipitación anual producida en esta zona del país es un tanto reducida propio al nivel en la que se encuentra, la acumulación anual producida en el año 2021 llego a 3.10 mm/año, lo que implica mayor tiempo seco que húmedo y siendo esta la razón para la estación del sistema de inspección.

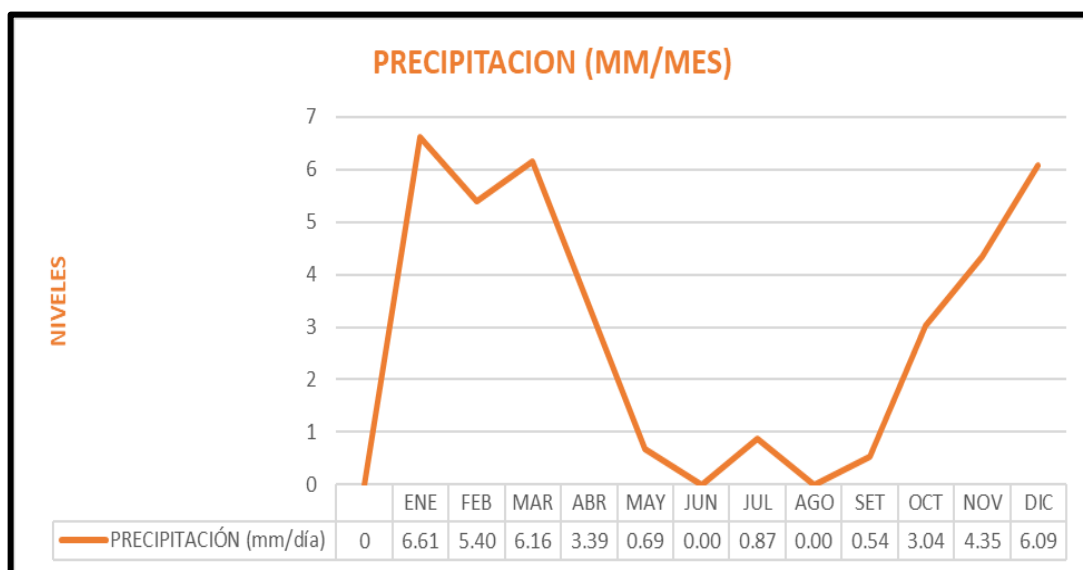


Figura 9— Precipitación anual 2021 (Estación meteorológica Tambobamba)

u) Evaporación

La evaporación es un proceso físico de cambio de estado líquido a gaseoso, propio al cambio de temperatura, la estratigrafía que presenta las vías de interés como se muestra en el Grafico 04, se puede observar que la evaporación se encuentra muy latente propio a la primera fase de esta, el material lastre por no contener relleno en su composición la percolación del agua es mayor, por ende, la evaporación del agua superficial es más rápida.

La evaporación va relacionada a las temperaras máximas presentadas en la zona, las mismas que se pueden observar en el Figura 8, siendo estas los índices de evaporación en referencia a la temperatura mensual presentadas en el año, estos índices nos llevan a determinar los periodos más secos y húmedos y de esa manera controlar la emisión de polvo.

v) Viento

Considerado un fenómeno físico categorizado según la velocidad en la que transcurre, en mina es considero como un factor de influencia directa con las condiciones de medio o entorno laboral, el viento al igual que la radicación solar provocan la emanación de polvo y estos dos factores controlados por un factor de ingeniería que la instalación de sistema de aspersión.



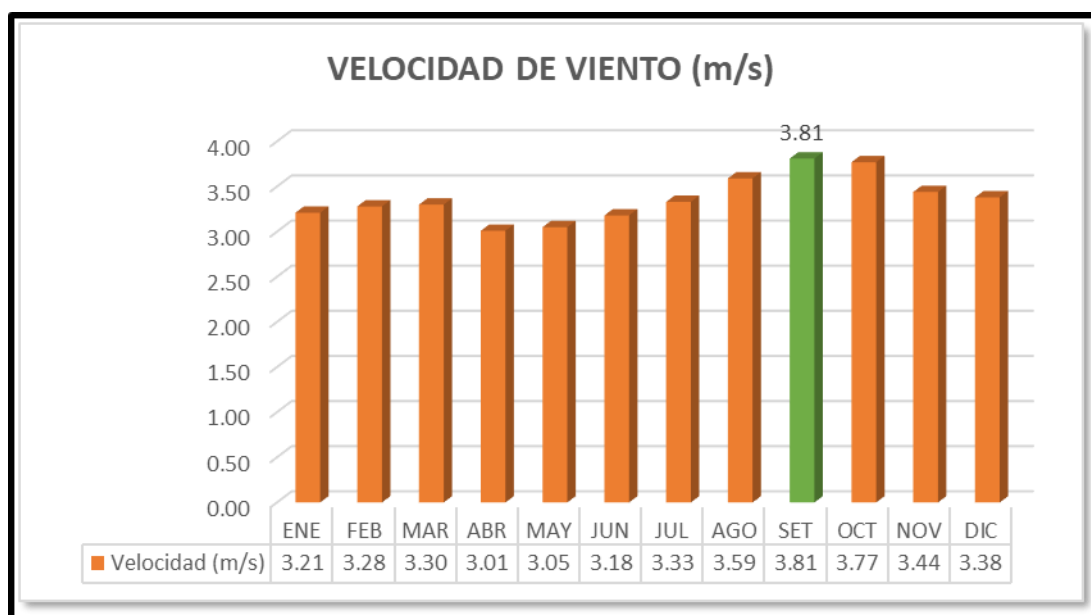


Figura 10— Velocidad de viento anual Estación meteorológica Tambobamba

La velocidad mensual del viento varía de 3.01 a 3.81 m/s, presentándose el nivel más alto en el mes de setiembre, los parámetros meteorológicos registrados demuestran que el viento es un factor a considerar para la evaluación de la polución del polvo ambiental.

w) Emanación de polvo

La emanación del polvo es un aspecto ambiental relevante para los trabajos mineros, donde el impacto va directo a la salud de los trabajadores y de las comunidades aledañas que se generan mayormente debido al tránsito por caminos no pavimentados resulta ser la fuente más comprometida.

En base a testimonios de profesionales relacionados con caminos mineros, se pone de manifiesto generación de polvo en las unidades mineras, básicamente son producidas por el cambio de temperatura presentadas durante el año, las mismas que se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 7 — Rango de temperatura

TEMPERATURA ANUAL °C	
Clima frio	< 8 °C
Clima templado	8 < °C < 20
Clima cálido	>20 °C

Extraído de: Ministerio del ambiente Perú

x) Parámetros de diseño de vías principales

Son consideraciones de diseño que se considera para la construcción de las vías principales de producción minera, el ancho de la vía es construido según la medida de la unidad vehicular o equipo más grande con la que cuenta la unidad minera.

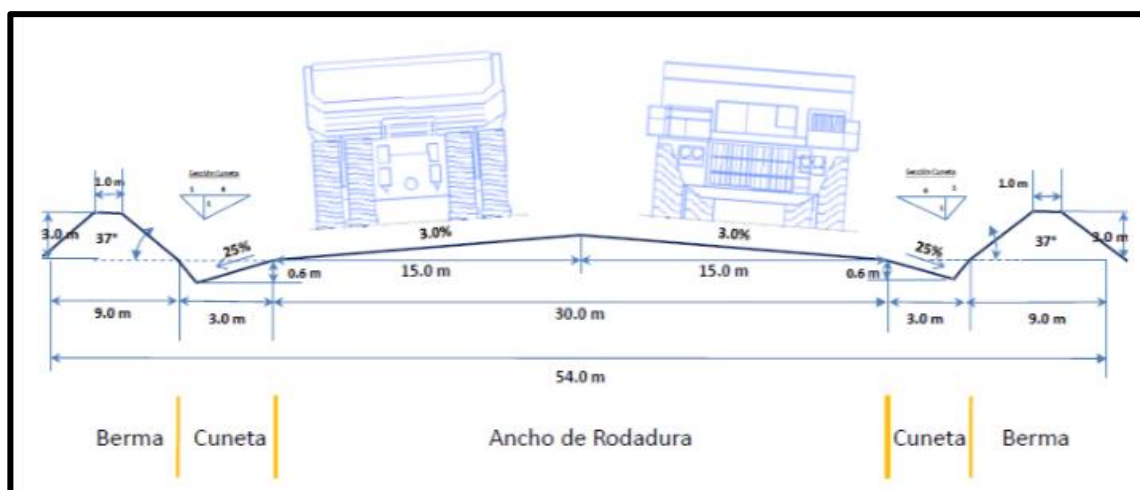


Figura 11— Parámetros de diseño de vías principales de producción Tajo Ferrobamba

Extraído de: Minera las Bambas

y) Ancho de vía

El ancho de vía va en relación a las dimensiones del camión minero, el mismo que se puede calcular con la siguiente formula.

Formula

$$A = a (0.5 + 1.5 * n)$$

Donde:

- A** Ancho total de vía (m)
- a** Ancho del Camión minero (m)
- n** N° de carriles



z) Berma

Es considero las limitaciones laterales de las vías, en Minera las Bambas las Bermas tiene una altura de 3 metros, una pendiente de 37° y un ancho de cresta de 1 metro.

aa) Cuneta

Es la separación entre el ancho de la vía y la berma, tiene el propósito de drenar el agua existente en mina, en U.M. Las Bambas, las cunetas tienen una dimensión de 3 x 0.6 metros.

bb)Pendiente

Es una condición topográfica correspondiente al desnivel existente en las vías, en minera las Bambas la pendiente a considerar es de un 25 %.

Formula

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2}$$

Donde:

m Pendiente (%)

y₂, y₁ Coordenadas superior en la recta

x₂, x₁ Coordenada inferior en la recta



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de enfoque cuantitativo, corresponde al tipo aplicada según ESCOBAR et al., (2015) “Se va a investigar para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad, de nivel correlacional, porque nos permiten al investigador, analizar, estudiar, medir y determinar el grado de relación entre las variables de estudio”.

4.2. Diseño de investigación

Según HERNÁNDEZ, FERNÁNDEZ Y BAPTISTA (2010), “Experimental, porque se manipula una o más variables independientes, con el objeto de analizar las consecuencias o efectos sobre una o más variables dependientes”.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población está constituida por la U.M. Las Bambas-2021.

4.3.2. Muestra

La muestra está conformada por los trabajadores que están expuesto a ambientes de polvos o material particulado, generados en el tramo 9 Tajo Ferrobamba U.M. Las Bambas 2021.

4.4. Procedimiento de la investigación

4.4.1. Técnicas de mediciones y recolección de datos

Se determinarán los puntos de medición, estos puntos deben ser lugares donde se generen polvo, como caminos, planta de chancado, sectores de perforación y voladura de tajos, puntos de acarreo del material, donde se medirán la polución del polvo con equipo de muestreador de polvo (Lighthouse Handheld 3016 IAQ) estos equipos permite realizar el monitoreo y control



de la concentración de partículas con diámetros de van desde 0.2 μm hasta 10 μm , para determinar la concentración de polvo se aplicará el método gravimétrico, establecido como Método de referencia de la CFR (Code of Federal Regulations) para determinar el material particulado suspendido de la EPA (Appendix B to Part 50—Reference Method for the Determination of Suspended Particulate Matter in the Atmosphere: High-Volume Method), estos equipos tienen una eficiencia de 100% de precisión; consta de un láser el cual tiene un tiempo de vida de 25 años, lo que demuestra que las partículas recolectadas y analizadas tienen un alto grado de confiabilidad de partículas de $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10} , este equipo también puede darnos valores de la temperatura, la presión, la concentración en masa de material particulado PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$, se determina con la masa total de las partículas recogidas en el rango de tamaño deseado, dividido por el volumen real de aire muestreado, y se expresa en microgramos por metro cúbico de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), donde en cada punto se deberán tomar varias muestras para su grado de confiabilidad.

4.4.2. Procesamiento de la información

Los datos recolectados que se obtiene de campo, se efectuará un tratamiento estadístico obteniendo los promedios para las diferentes variables e indicadores, para el cálculo de la concentración total de partículas suspendidas en el aire ambiental se calcula como la masa de partículas recolectadas, dividida por el volumen de aire muestreado, corregida de acuerdo con las condiciones estándar y expresadas en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) calcula con la masa total de las partículas recogidas en el rango de tamaño deseado.

Para el diseño y ubicación de los aspersores de riego se utilizará los programas como AutoCAD, GIS entre otros.

Para el tratamiento estadístico y procesamiento de datos: Excel, SPSS, XLSTAT.

4.5. Material de investigación

Como material de investigación utilizaremos tesis de pregrado, tesis de posgrado, relacionados al tema de polución del Polvo ambiental.

4.5.1. Instrumentos de investigación



a) Muestreador de Polvo

Lighthouse Handheld 3016-IAQ, de diseño ergonómico y liviano, es el contador de partículas de mano más avanzado del mercado, con modo de concentración de masa que se aproxima a la densidad en $\mu\text{g} / \text{m}^3$. Al contar con hasta 6 canales de tamaño de partículas de conteo simultáneo, los Contadores de Partículas de Mano Lighthouse pueden mostrar datos de conteo de partículas acumulativo y diferencial, así como datos de Humedad / Humedad Relativa en la pantalla táctil a color, rápida y fácil de leer. La computadora de mano Lighthouse 3016-IAQ puede almacenar hasta 3,000 registros de datos de partículas y la base de datos de recetas configurables puede almacenar hasta 50 recetas para muestreos e informes. La computadora de mano 3016-IAQ controla los niveles de partículas de manera precisa y confiable, incluso en áreas "difíciles de alcanzar" donde el manejo con dos manos no es seguro.



Figura 12— Muestreador de Polvo Lighthouse Handheld 3016-IAQ
Extraído de: Minera las Bambas

b) Otros

Mapas de riesgo: de la U.M. Las Bambas, de identificación y señalizado correctamente mediante demarcación horizontal, señales viales, carteles informativos y el camino hacia la mina de señales de advertencia, informativas, y contra incendios.

Los matrices de IPERC de la U. M, Las Bambas, la línea base, la matriz de Identificación de Peligros, la evaluación de riesgos entre otros.

- Reporte de las condiciones laborables
- Cámara digital
- Balanzas digitales
- Encuesta hacia los trabajadores expuestos.

4.6. Estadística de la investigación

4.6.1. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis y procesamiento de la información se utilizará la estadística descriptiva, los datos y los resultantes obtenidos durante el desarrollo de la investigación de la tesis se plasmarán en los resultados y discusión del trabajo, asimismo se utilizará las herramientas como:

- Estadística descriptiva e inferencial.
- Análisis paramétricos de hipótesis, prueba para validar las variables.
- Cuadros y tablas de resúmenes.
- Graficas comparativas de los resultados, entre otros.

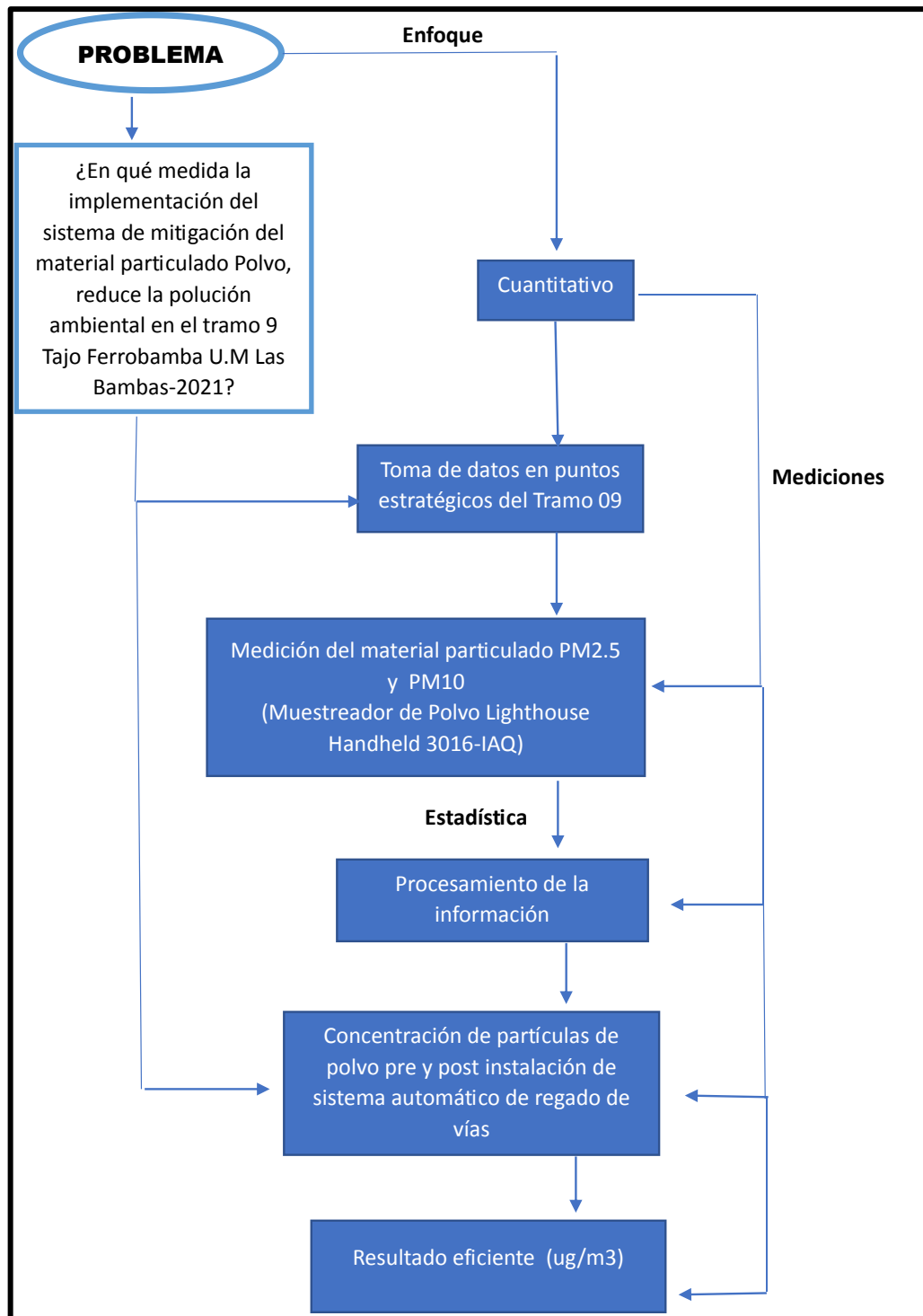


Figura 13— Diseño metodológico

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1. Análisis de resultados

Teniendo la información recabada se procede a realizar y evaluar los resultados, a continuación, se presentan la evaluación de la variable dependiente: Polución ambiental, para ello se ha realizado el monitoreo de las partículas de polvo de fuentes de emisión fugitiva y fuentes de emisión no fugitiva, los mismo que fueron realizados en dos fechas diferentes y en puntos estratégicos, teniendo en consideración la fuentes de emisión, la temperatura del ambiente, la humedad relativa y la ubicación del punto de muestreo.

5.1.1. Monitoreo de partículas en suspensión $PM_{2.5}$

Al realizar el monitoreo de la partícula en suspensión $PM_{2.5}$ con el equipo Lighthouse Handheld 3016-IAQ, de la polución del polvo ambiental, proveniente de diferentes fuentes como lineal, volumétrica y de áreas de emisión se determinó que en dichas zonas de muestreo se puede observar que la presencia de partículas en suspensión es variable en determinadas horas del día, cabe mencionar que la medición se realizó en el horario de 06:00 a 18:00 horas, y la incidencia del polvo que varían de acuerdo a los vientos que se presentan en la zona del proyecto.

Por otro lado, la medición se realizó en dos puntos estratégicos al inicio y fin del Tramo 09 en tiempos simultáneos, tal como se muestra en tablas 7 y 8 se pueden observar los resultados de dicha medición.

5.1.1.1. Monitoreo de partículas en suspensión $PM_{2.5}$ y PM_{10} a inicio de Tramo 09 en el Tajo Ferrobamba

Se realizo 2 monitoreos en fechas distintas la primera se realizó el 26 de junio del 2021, fecha antes de la instalación de los aspersores, y el 15 de noviembre del 2021 pos instalación de los aspersores, las fechas establecidas estratégicamente, tomando como referencia la estación meteorológica Tambobamba del SENAMHI, bajo los criterios de temperatura, precipitación, humedad relativa y la velocidad del viento.



a) Primer monitoreo de partículas en suspensión PM_{2.5}

Este monitoreo se realizó el 26 de junio del 2021, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 8 — Concentración de partículas en suspensión PM_{2.5} - 26/06/21

Fecha de monitoreo	Hora de Control	Ubicación	Altitud m.s.n.m	Coordenadas		Concentraciones PM _{2.5} (µg/m ³)
				Este	Norte	
26/06/2021	06:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.12
26/06/2021	07:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.15
26/06/2021	08:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.11
26/06/2021	09:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.4
26/06/2021	10:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.85
26/06/2021	11:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.35
26/06/2021	12:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.23
26/06/2021	13:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.46
26/06/2021	14:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.65
26/06/2021	15:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.25
26/06/2021	16:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.86
26/06/2021	17:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.26
26/06/2021	18:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.19
Promedio de concentración de PM _{2.5} durante 12 horas						2.61

Las concentraciones de partículas PM_{2.5} es variado, como se puede observar en la Tabla 9, la máxima concentración se pudo obtener a las 15:00 horas dando como resultado de 5.25 (µg/m³), y la mínima registrada es al inicio del muestreo a las 06:00 horas presentado un índice de 2.4 (µg/m³).

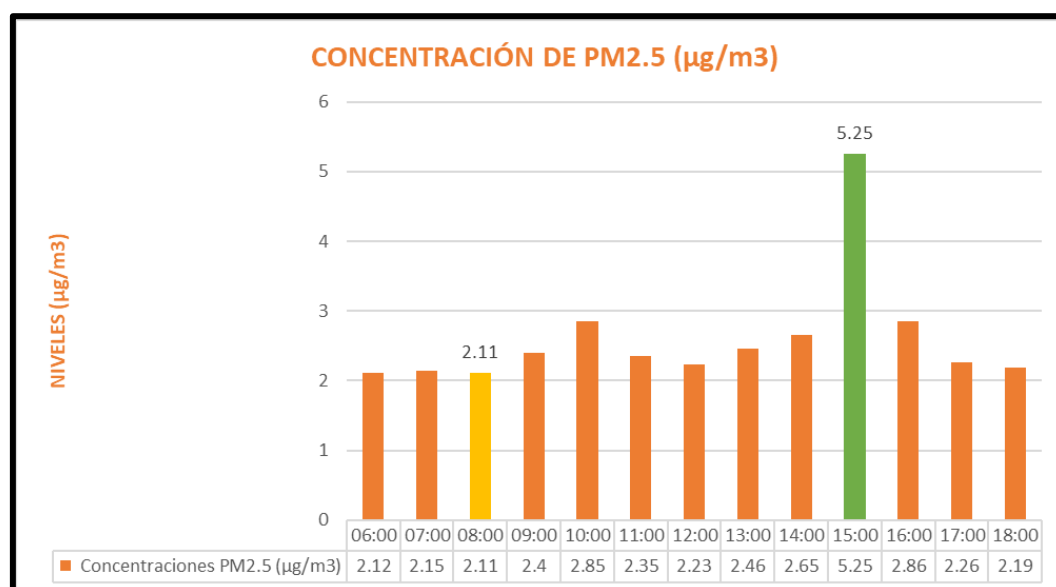


Figura 14— Concentración de partículas PM_{2.5} según horario establecido - 26/06/21

La concentración de partículas según horario establecido da como resultado el máximo y mínimo valor obtenido, según el límite máximo permisible del aire PM_{2.5} es de 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante 24 horas de exposición, por ende, el límite máximo registrado está dentro del rango de permisibilidad, el mismo que es controlado haciendo uso constante de respirador de silicona con filtro de polvo 2097 y Mascarillas KN95.

b) Primer monitoreo de partículas en suspensión PM₁₀

Este monitoreo se realizó el 26 de junio del 2021, teniendo los siguientes resultados.

Tabla 9 — Concentración de partículas en suspensión PM₁₀ - 26/06/21

Fecha de monitoreo	Hora de Control	Ubicación	Altitud m.s.n.m	Coordenadas		Concentraciones PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
				Este	Norte	
26/06/2021	06:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	3.45
26/06/2021	07:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.68
26/06/2021	08:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.9
26/06/2021	09:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	7.82
26/06/2021	10:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	9.78
26/06/2021	11:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	11
26/06/2021	12:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	10.53
26/06/2021	13:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	8.97
26/06/2021	14:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	8.58
26/06/2021	15:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.25
26/06/2021	16:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	7.65
26/06/2021	17:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.98
26/06/2021	18:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	4.65
Promedio de concentracion de PM10 durante 12 horas						7.33

La concentración de la partícula PM₁₀ es variado durante el día, tal como se muestra en la Tabla 10, la máxima concentración se presentó a las 11:00 horas dando como resultado 11 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), y un valor mínimo de 3.45 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) valor obtenido a inicio del monitoreo 06:00 horas.

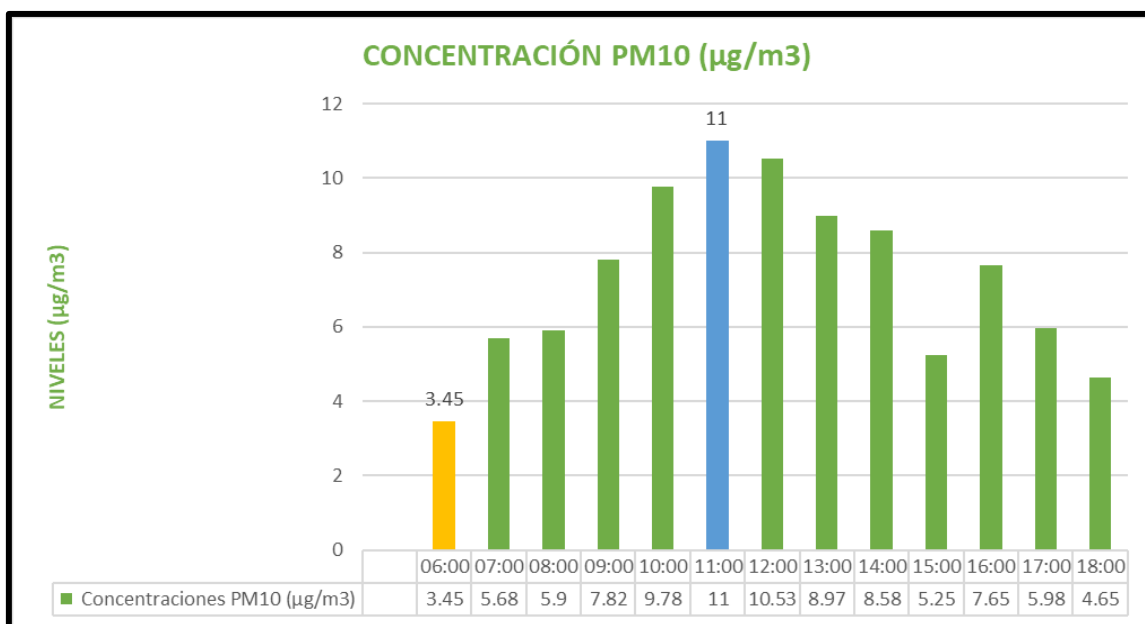


Figura 15— Concentración de partículas PM₁₀ según horario establecido - 26/06/21

Las concentraciones según horario establecido dan como resultado el máximo y mínimo valor obtenido el mismo que se puede evidenciar en la figura 8, según el límite máximo permisible del aire PM₁₀ es de 100 (µg/m₃) durante 24 horas de exposición, por ende, el límite máximo registrado está dentro del rango de permisibilidad, el mismo que es controlado haciendo uso constante de respirador de silicona con filtro de polvo 2091 y Mascarillas KN95.

5.1.2. Determinación de costos del sistema de regado del polvo de las vías

Para evitar que la contaminación generada por el polvo, afecte el medio ambiente y la visibilidad en la conducción de vehículos, las vías en mina son regadas frecuentemente, mediante unos camiones cisterna que circulan constantemente por dichas vías.

Se plantea un sistema automático de supresión de polvo, mediante cañones-aspersores capaces de cubrir una gran área de una lluvia de agua uniforme en poco tiempo. Los cañones deben estar dispuestos al costado de la vía, sobre el talud de protección.



5.1.2.1. Cálculo de costos por Cisternas de agua

Tabla 10— Costo operacional actual - cisterna de agua HD 15000

IT	Descripción	Cant	Unidad	Tiempo por año	Tiempo	Costo unitario	Unidad	Costo total anual \$
1.0	Personal calificado Operador de camión cisterna	16	Persona	12.00	Meses	2,500	\$/Mes	480,000.00
2.0	Costo de posesión y operación Costo de posesión y operación camión cisterna	4	Unidad	662,400.00	m3/año	0.75	\$/m3	1,987,200.00
3.0	Costo de combustible Combustible	30	Galones/h	5,760.00	h/año	3.35	\$/Galones	2,315,520.00
4.0	Costo de sistema de bombeo Garza metálica	4	Unidad			24,000	\$/Unidad	96,000.00
	Bomba Flygt 140 HP + cable	4	Unidad	2,880.00	h/año	3.67	\$/h	42,240.00
	Tablero electrico bomba	4	Unidad	2,880.00	h/año	0.50	\$/h	5,760.00
	Mantenimiento Bomba Flygt 140 HP	4	Unidad	2,880.00	h/año	2.75	\$/h	31,680.00
	Costo de energía eléctrica	104	KW	2,880.00	h/año	0.25	\$/KW-h	299,520.00
5.0	Otros accesorios Balsa para bomba y accesorios	4	Unidad	2,880.00	h/año	0.43	\$/h	1.70
	COSTO DE OPERACIÓN ANUAL							5,257,921.70

Extraído de: MG Las Bambas 2021

5.1.2.2. Cálculos de costos por supresores de polvo



Tabla 11— Costo operacional propuesto - Sistema automático de supresión de polvo

IT	Descripción	Cant	Uds	Tiempo por año	Tiempo	Costo unitario	Unidad	Costo total anual \$
1.0	Implementación de riego por aspersión							
	Implementación de riego	000	MI	-	-	92.23	\$/ml	1,475,751.68
	Costo de instalación	16000	MI	-	-	39.38	\$/ml	630,048.00
2.0	Costo de operación del sistema - tablero							
	Tablero de control eléctrico	4	KW	5,760.00	h/año	0.25	\$/K W-h	5,760.00
3.0	Costo de mantenimiento							
	Costo de mantenimiento - Aspersión	31600	Operadores	12.00	Meses	2,000.00	\$/meses	72,000.00
	Insumos varios	00	MI	-	-	1.50	\$/ml	24,000.00
4.0	Costo de operación de líneas de bombeo							
	Poza colectora	5	Unidad	4,320.00	h/año	2.25	\$/h	48,600.00
	Bomba Flygt 140 HP + cable	5	Unidad	4,320.00	h/año	3.67	\$/h	79,200.00
	Tablero electrico bomba	5	Unidad	4,320.00	h/año	0.50	\$/h	10,800.00
	Mantenimiento Bomba Flygt 140 HP	5	Unidad	4,320.00	h/año	2.75	\$/h	59,400.00
	Costo de energía eléctrica	104	KW	4,320.00	h/año	0.25	\$/K W-h	561,600.00
5.0	Otros accesorios							
	Balsa para bomba y accesorios	5	Unidad	4,320.00	h/año	0.43	\$/h	45,900.00
	COSTO DE OPERACIÓN ANUAL							\$/. 3,013,059.68

Extraído de: MG Las Bambas 2021

5.1.2.3. Comparación de costos por sistemas de cisternas y riego por aspersión de vías

Para la comparación de los sistemas de riego por vehículos Cisternas y Aspersores de chorro de agua, con los datos determinados por la Empresa Contratista de la Empresa Minera Las Bambas se ha proyectado para 10 años tal como se muestra en la Tabla N° 13.

Tabla 12 — Costo operacional propuesto - Sistema automático de supresión de polvo

TIEMPO	CISTERNA	ACUMULADO	SISTEMA ASPERSION	ACUMULADO	PORCENTAJE
Año 01	\$/5,257,922	\$/5,257,922	\$/3,013,060	\$/3,013,060	57.3%
Año 02	\$/5,257,922	\$/10,515,843	\$/907,260	\$/3,920,320	37.3%
Año 03	\$/5,257,922	\$/15,773,765	\$/907,260	\$/4,827,580	30.6%
Año 04	\$/5,257,922	\$/21,031,687	\$/907,260	\$/5,734,840	27.3%
Año 05	\$/5,257,922	\$/26,289,609	\$/907,260	\$/6,642,100	25.3%
Año 06	\$/5,257,922	\$/31,547,530	\$/907,260	\$/7,549,360	23.9%
Año 07	\$/5,257,922	\$/36,805,452	\$/907,260	\$/8,456,620	23.0%
Año 08	\$/5,257,922	\$/42,063,374	\$/907,260	\$/9,363,880	22.3%
Año 09	\$/5,257,922	\$/47,321,295	\$/907,260	\$/10,271,140	21.7%
Año 10	\$/5,257,922	\$/52,579,217	\$/907,260	\$/11,178,400	21.3%
TOTAL	\$/52,579,217.00		\$/11,178,399.68		

Extraído de: MG Las Bambas 2021

En el cuadro de comparación de costos por los dos sistemas de riego se visualiza que; utilizando el sistema de riego actual mediante Cisternas de Agua se tiene un costo de \$/. 52,579,217.00 para una proyección de 10 años y para el sistema propuesto de riego automático mediante aspersores se tiene un costo de \$/. 11,178,399,68, haciendo una comparación existe una reducción en costos de \$/. 41,400,817.30 aplicando el sistema de riego automático por aspersores para la Empresa Minera Las Bambas.

5.2. Contrastación de hipótesis

5.2.1. Hipótesis general

La implementación de un sistema de mitigación de polvo ha sido evidentemente eficiente, pos-instalación de dicho sistema se puede presenciar niveles permisibles de las partículas PM_{2.5} y PM₁₀, en el tramo 09 del tajo Ferrobamba

5.2.2. Hipótesis específica

- La eficiencia del sistema de mitigación de polvo, es reflejado en los reportes pos instalación.
- En referencia al control del polvo y en específico de las partículas PM_{2.5} y PM₁₀ en el Tramo 09 del Tajo Ferrobamba, están siendo controlados gracias al sistema de mitigación implementado adicional con el apoyo del camión cisterna.
- En la comparación de costos entre los dos sistemas de regado de vías por sistema de riego por camión cisterna y por aspersores que se muestra en la Tabla N°13 existe un ahorro económico para la empresa.

5.3. Discusiones del resultado

Este monitoreo se realizó Pos instalación del sistema de mitigación de polvo el 15 de noviembre del 2021, teniendo como resultado lo que se pueden observar líneas abajo.

Tabla 13— Concentración de partículas en suspensión PM_{2.5} pre y pos riego con el Sistema de mitigación de polvo

Fecha de monitoreo	Hora de Control	Ubicación	Altitud m.s.n.m	Coordenadas		Concentraciones PM _{2.5} (µg/m ³)	Concentraciones PM _{2.5} (µg/m ³) / regadio con aspersores	Tiempo de regadío (min)
				Este	Norte			
15/11/2021	06:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	1.56	1.54	5
15/11/2021	07:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.15	2.13	5
15/11/2021	08:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.8	2.5	5
15/11/2021	09:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.58	2.4	5
15/11/2021	10:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	3.24	1.58	10
15/11/2021	11:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.5	1.7	10
15/11/2021	12:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.45	1.65	10
15/11/2021	13:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.57	1.52	10
15/11/2021	14:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	3.02	1.36	10
15/11/2021	15:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.65	1.29	10
15/11/2021	16:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.87	1.67	10
15/11/2021	17:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.53	1.43	5
15/11/2021	18:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	2.32	1.32	5
Promedio de concentración de PM _{2.5} durante 12 horas						2.56	1.70	

Como se puede observar en la Tabla 13, se realizó dos tipos de muestras el primero va referido a la concentración de partículas en suspensión sin ningún control de ingeniería, mientras que en la columna 8 se puede observar que se realizó otra medición pos riego de la vía, dando como resultado niveles mucho más bajos, lo que implica la efectividad de la instalación de los aspersores.

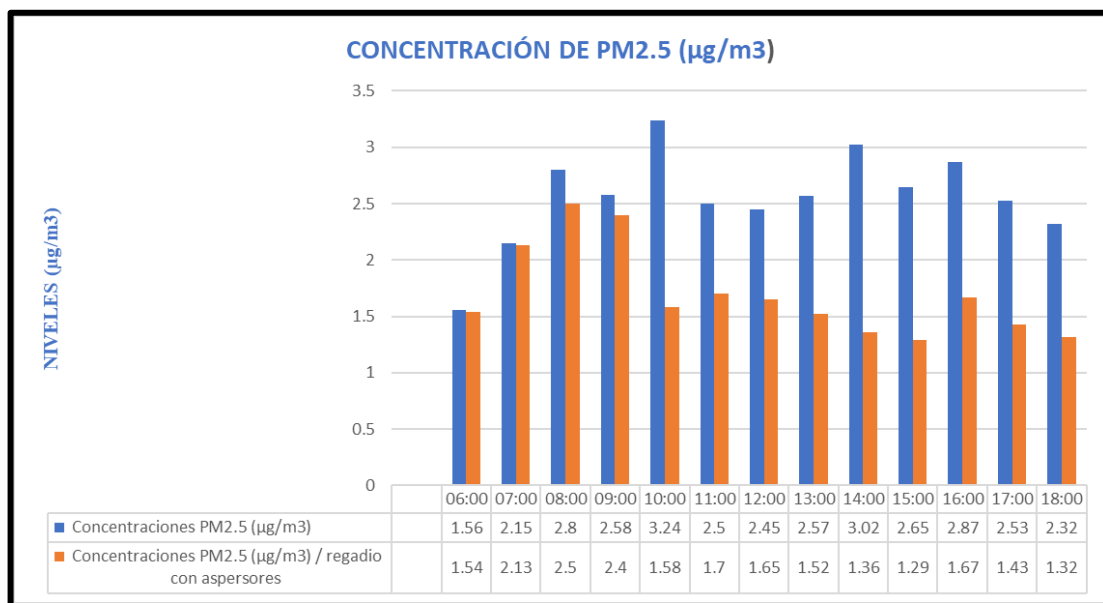


Figura 16— Comparación de resultados pre y pos instalación de aspersores PM_{2.5} – 15/11/21

Según los datos obtenidos el nivel de concentración de la partícula PM_{2.5} evidentemente redujo teniendo como resultados la minimización de la polución, creando y manteniendo concisiones ambientales considerables salvaguardando la salud del personal y el cuidado del medio ambiente.

Tabla 14— Concentración de partículas en suspensión PM₁₀ pre y pos riego con el sistema de aspersión

Fecha de monitoreo	Hora de Control	Ubicación	Altitud m.s.n.m	Coordenadas		Concentraciones PM10 (µg/m3)	Concentraciones PM10 (µg/m3) / regadio con aspersores	Tiempo de regadío (min)
				Este	Norte			
15/11/2021	06:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	3	2	5
15/11/2021	07:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	4.89	3.85	5
15/11/2021	08:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	6	5.43	5
15/11/2021	09:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	7.99	7.34	5
15/11/2021	10:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	10.02	9.65	10
15/11/2021	11:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	10.09	9.78	10
15/11/2021	12:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	11.04	10.63	10
15/11/2021	13:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	8.65	8.12	10
15/11/2021	14:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	8.34	8.02	10
15/11/2021	15:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	6.37	6.56	10
15/11/2021	16:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.34	5.01	10
15/11/2021	17:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	5.23	5.11	5
15/11/2021	18:00	Inicio de Tramo 09	4170	791700	8441900	4.32	4.09	5
Promedio de concentración de PM10 durante 12 horas						7.02	6.58	

Como se puede observar en la Tabla 15, se realizó dos tipos de muestras el primero va referido a la concentración de partículas en suspensión sin ningún control de ingeniería, mientras que en la columna 7 se puede observar que se realizó otra medición pos riego de la vía, dando como resultado niveles mucho más bajos, lo que implica la efectividad de la instalación de los aspersores. Con el propósito de validar y ejecutar el servicio se procedió a realizar la medición de la partícula en suspensión PM₁₀, obteniendo como resultado los valores descritos en el grafico siguiente.

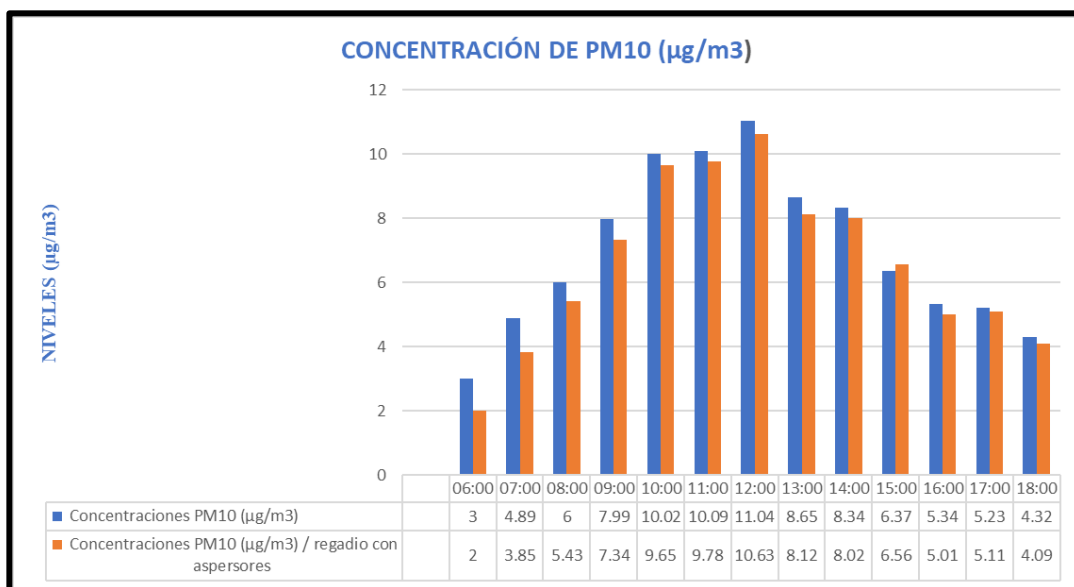


Figura 17— Comparación de resultados pre y pos instalación de aspersores PM₁₀ - 15/10/21

Por otra parte, la Grafico 10, nos muestra las concentraciones de partículas de polvo de PM₁₀ en diferentes horarios, podemos afirmar que al inicio de las primeras horas se muestra una concentración muy baja de 3 µ/m³ y al medio día

la concentración alcanza los valores máximos llegando a valores de $11,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con el transcurso de las horas va disminuyendo en forma paulatina.

Los resultados del análisis, muestra una disminución de los contaminantes del aire atmosférico de las partículas en suspensión $\text{PM}_{2.5}$, para camión cisterna de $2.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y con aspersores un valor de $1.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que están dentro límites máximos permisibles de la misma forma las partículas en suspensión PM_{10} , con camión cisterna de $7.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $6.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con la implementación de aspersores.

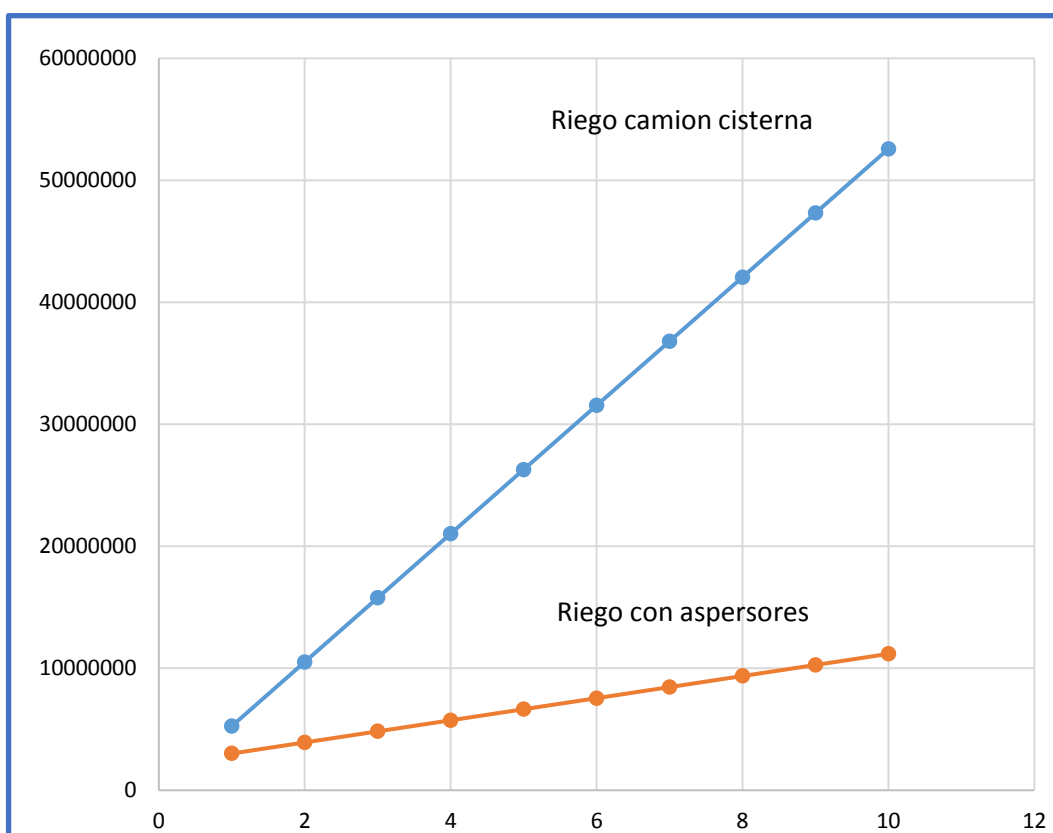


Figura 18— Comparación de costos de los sistemas de riego

Como se puede observar en la Figura 19, la correlación lineal de las dos rectas, se muestra que, implementado el sistema automático de riego de vías mediante cañones-aspersores los costos son muy inferiores a lo que la Empresa Minera Las Bambas está utilizando el sistema de riego por camiones cisternas, ya que con el sistema automático el riego es uniforme y constante.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El análisis de concentración de las partículas en suspensión $PM_{2.5}$ y PM_{10} , utilizando el equipo Muestreador de Polvo Lighthouse Handheld 3016-IAQ ha podido registrar un antes y un después de la implementación del sistema automático de regado de vías mediante cañones aspersores, lo cual se observa una reducción en la emisión del material particulado $PM_{2.5}$ en $0,86 \mu g/m^3$ y PM_{10} en $0.44 \mu g/m^3$, resultados que están siendo controlados en el tramo 9 del tajo Ferrobamba, adicionalmente se está implementado el mismo sistema de mitigación en distintos tramos que comprende la parte operativa de Minera Las Bambas.
- Los resultados del análisis de control de material particulado de $PM_{2.5}$ y PM_{10} , muestra una disminución de los contaminantes del aire atmosférico, haciendo uso de los camiones cisterna da como resultado el $2,56 \mu g/m^3$ y con el uso del sistema automático de regado de vías mediante cañones aspersores corresponde al $1,70 \mu g/m^3$, se observa una disminución del $0,86 \mu g/m^3$ para la partícula en suspensión $PM_{2.5}$, de la misma forma la emisión de las partículas en suspensión PM_{10} , haciendo uso de los camiones cisterna obtenemos un resultado del $7,02 \mu g/m^3$, y con el uso del sistema automático de regado de vías mediante cañones aspersores se obtiene un valor del $6,58 \mu g/m^3$, obteniendo una disminución del $0.44 \mu g/m^3$, valores que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.
- Lo referente a los costos de comparación con el sistema de regado de vías, para evitar que la contaminación generada por el polvo, afecte al medio ambiente y la visibilidad en la conducción de vehículos, las vías en mina son regadas frecuentemente, mediante camiones cisterna, que circulan constantemente por dichas vías, el costo asignado para esta técnica es de \$/. 5,257,921.70 por año, y con la implementación del sistema automático de regado de las vías mediante cañones aspersores en el tramo 9 de Tajo Ferrobamba es de \$/. 3,013,059.68 por año, obteniendo un ahorro anual del \$/.2,244,862.02, y haciendo una proyección de 10 años se visualiza un ahorro de \$/.

41,400,817.30 aplicando el sistema de riego automático mediante cañones aspersores para la Empresa Minera Las Bambas

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda que este tipo de sistemas de mitigación de polvo sea implementado en todas las vías principales que componen la unidad minera, en donde se deberá determinar la periodicidad de lastrado de la vía, evaluando las condiciones climáticas y las propiedades del suelo.
- El control de las partículas en suspensión $PM_{2.5}$ y PM_{10} , se deberá realizar periódicamente, para garantizar la eficacia del sistema de mitigación de polvo, antes de poder realizar el monitoreo de partículas en suspensión $PM_{2.5}$ y PM_{10} , se tendrá que coordinar con el área operativa y Dispatch mina (sistema de gestión de flota), con el fin de proporcionar las condiciones adecuadas para realizar el monitoreo.
- Antes de la instalación del sistema de aspersión se deberá asegurar bien la tubería HDPE, definir puntos de sujeción estables a cortas distancias para evitar elongaciones, así mismo la plataforma conformada en la parte superior de la berma deberá tener un ancho no menor de un metro, esto para asegurar la transpirabilidad del personal de piso. Se recomienda colocar los cañones cada 10 metros, y el funcionamiento de manera intercalada no secuencial, con el fin de evitar el derrapamiento de los camiones mineros, la colocación de los cañones se deberá realizar en tramos rectos, no es recomendado colocar en las curvas propio a la proximidad del camión minero y el aspersor, evitando el desprendiendo del aspersor por la fuerza de impacto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDO, J.; SANDERS, T. Y CHENARD, M. (2004): Road Dust Suppression: Effect on Maintenance Stability, Safety and the Environment, Phases 1-3. MPC Report No. 04-156. 74 p.

AGUILAR, L. (2006). Contaminación ambiental. Recuperado de <http://contaminacion-ambiente.blogspot.com/>

ALVIS CAMACHO E. (2012), “Impacto ambiental generado por el material particulado, sobre la calidad del aire en la zona de influencia de los proyectos Carbonífero del departamento del Cesar”

ANGUITA Y RUEDA (2010). Procesos Geológicos externos y Geología Ambiental”. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=23689>

ANGULO, C., Luis, HUERTAS C. J., y RESTREPO Gloria (2011). Caracterización de Partículas Suspendidas (PST) y Partículas Respirables (PM 10) producidas en Áreas de Explotación Carbonífera a Cielo Abierto, disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v22n4/art04.pdf>

BARTUAL, S. Y BERENQUER, S. (2012). NTP 607: Guías de calidad de aire interior: Contaminantes químicos. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. 2p.

BEAULIEU, L.; PIERRE, P.; JUNEAU, S. Y LÉREGE, G. 2011: Maintenance Guide for Unpaved Roads, A Selection Method for Dust Suppressants and Stabilizers. Natural Resources Canada, p. 51.

BERMÚDEZ, L. et al. (2010) Estimación de Factores de Emisión de PM10 y PM2.5, en Vías Urbanas en Mexicali, Baja California, México, Información Tecnológica, 21(4), 45-56.

BRAUER DIEGO A., GIUBERGIA ANDREA A. GIL COSTA V. (2019). Evaluación de productos para el control de polvo ambiental en caminos mineros. ISSN 1993 8012

CARHUAPOMA HURTADO, Katherine Joselin (2015), “Propuesta de implementación de un sistema de mitigación de polvo en el proceso de chancado de mineral de la planta chancadora de Shougang Hierro Perú S.A.A.”. Disponible en: <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/2235>



DECRETO SUPREMO N° 024-2016-EM: "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería"; o en el D.S. N° 015-2005-SA: REGLAMENTO SOBRE VALORES LÍMITE PERMISIBLES PARA AGENTES QUÍMICOS EN EL AMBIENTE DE TRABAJO.

ESCOBAR VICUÑA P., ASTUÑAUPA FLORES S., HUANCA SOLÍS S. (2015). Metodología de la Investigación Científica, ISBN N° 978-612-00-1847-7

ECHEVERRI, C. (2006). Determinación de las concentraciones de fondo de material particulado en suspensión en la ciudad de Medellín. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 20, 7-19. España: Madrid.

GASTAÑAGA COLL, A. Y MEDINA, A. Y. (1963): Control del contaminante polvo en minas y plantas concentradoras. Lima, Perú: Editorial Instituto de Salud Ocupacional.

HERNÁNDEZ, C. V. (2018): Control de polvo en minería: Tecnología, seguridad y eficiencia. Construcción Minera (n°4). Consultado: 12/10/2017. Disponible en: <http://www.construccionminera.cl/control-de-polvo-en-mineria-tecnologia-seguridad-y-eficiencia/#.W6jV43tKjcc>

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, P. (2010). Metodología de la investigación.

HESPERIAN. (2011). La minería y la salud. EEUU: Hesperian Health Guides. Disponible en: https://es.hesperian.org/hhg/Gu%C3%ADa_comunitaria_para_la_salud_ambiental

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. 2004: Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería. 5 ed. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 360 p. ISBN: 8478400192.

MARTÍNEZ, QUERO, ISIDRO Y REGO (2010). Enfermedades pulmonares profesionales por inhalación de polvos inorgánicos. Servicio de Neumología Ocupacional Instituto Nacional de Silicosis. Hospital Central de Asturias. España: Oviedo.

MEJÍA, M. Y OVIEDO, I. (2006). Estimación de las funciones de costo marginal de abatimiento del material particulado para fuentes fijas en el Valle de Aburrá. Ensayos de economía 2, 12 pp-pp.

México: Mc Graw Hill.

MEZAROS. (1999). Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): La isla de calor y sus efectos condicionantes. Boletín de la A.G.E, 4(40), 311-327.



MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA DE ESPAÑA (2013). Niveles, Composición y Fuentes de PM₁₀ y PM_{2.5} en España: Aragón, Asturias, Castilla La Mancha, y Madrid. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/>.

MORAGA, RIVERA Y SOTO (2010). Evaluar y proponer la disminución de materia particulado en la planta de chancado secundario-terciario en División el Teniente de Codelco Chile”. Chile: Santiago. Disponible en: <http://bibliotecadigital.academia.cl/xmlui/handle/123456789/1236>

MOSQUEIRA ESTRAYER, HUGO (2019). Evaluación de las partículas PM_{2.5} y PM₁₀ en la construcción de la carretera Chota - Cochabamba (Universidad Nacional de Cajamarca, 2019), <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2835>

OSPINA, J. M.; GONZÁLEZ, N. M. Y FERNÁNDEZ, L. J. 2011: Evidencia temprana de alteración funcional por exposición respiratoria: minería artesanal del carbón en Paipa, Colombia. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 29(4): 445-453. Consultado: 10/09/2018. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/120/12021522010.pdf>

PACHECO ESPEJO, J. (2020), “Diseño de un sistema para el control de polvo en plantas de agregados en Arequipa” Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11510>

PEREDA GUIVAR P., ALAYA ZELADA G. R. (2018). Estudio comparativo de supresores de polvo DASAUT, DL10 PLUS Y KNOCKOUT DUSTPLY para la mitigación de material particulado en vías Yanacocha 2018”

RADA JAMAN, R. 2017: Control de polvo: lo barato cuesta caro. Nueva Minería y Energía, 25 de abril. Consultado: 28/08/2018. Disponible en: <http://www.nuevamineria.com/revista/control-de-polvo-lo-barato-cuesta-caro/>

Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería; Decreto Supremo N° 024-2016-EM: o en el D.S. N° 015-2005-SA., modificado por el Decreto Supremo N° 023-2017-EM.

SAAVEDRA (2015). Riego en la minería, Universidad Nacional de Colombia) Disponible: <https://fdocuments.ec/reader/full/riego-en-la-mineria>

SAGÁSTEGUI DELGADO, Adrián (2014), “Propuesta para reducir las emisiones de polvo fugitivo en el proceso productivo de una Empresa Cementera” disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/322410> doi: 10.4067/S0718-07642011000400004

TAPIA, D. 2017: Control de polvo en minería: A la vanguardia en procesos y tecnología. Nueva Minería y Energía, 7 de mayo. Consultado: 28/08/2018. Disponible en:



<http://www.nuevamineria.com/revista/control-de-polvo-en-mineria-a-la-vanguardia-en-procesos-y-tecnologia/>

ULATE-CASTILLO, A. Y VARGAS-SOBRADO, C. 2018: Control de polvo en caminos no pavimentados. Boletín Técnico Pitra-LanammeUCR, 9(6), Costa Rica. Consultado: 18/12/2018. Disponible en:

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1049/Bolet%C3%ADn%2006>

Urteaga, M. P. (2016). Elaboración de un estudio técnico y económico basado en la aplicación del supresor R42-10 para optimizar la frecuencia de regado en la vía de servicios de minera Yanacocha, Cajamarca, Perú. Universidad Privada del Norte, Cajamarca.

VEGA BALDEON D. (2007). El origen de polvos y su mitigación en la minería”. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos53/contaminacion-polvos-mineria/contaminacion-polvos-mineria2.shtml>

VENTIUS (2016). Polvo en minería, sistema de control de Polvo. Soluciones Efectivas y Eficientes.

WARNER (2011). Análisis de Contaminantes del aire. Ed. Paraninfo. Perú: Arequipa. Disponible en: https://www.imosver.com/es/libro/analisis-de-los-contaminantes-del-aire_RAM0007779

YABAR BAÑOS, Carlos (2020), “Sistema de mitigación de polvo de mineral de hierro en la planta chancadora del área San Nicolás - Marcona” Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11716>

YANG, S. C. Y LIN, Y. F. 2009: Airway function and respiratory resistance in taiwanese coal workers with simple pneumoconiosis. Chang Gung Med J., 32(4): 438-46.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Informe Nacional de la Calidad del aire 2013 y 2014:

<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>



ANEXOS



ANEXO I : DOSIER PROYECTO RIEGO POR ASPERSIÓN TRAMO 9**Tabla 15—Dosier proyecto riego por aspersores Tramo 9**

Iniciación de un proyecto o capex	
Nro. De Documento	
Nombre del Proyecto:	Riego por aspersión tramo 9
Código del Proyecto:	5200P-XXXX10
Fecha de Elaboración:	21 de marzo 2021

1.- REGISTRO DE CAMBIOS AL ALCANCE				
Fecha	Revisión	Descripción del cambio	Autor	Aprobado
21/03/21		RIEGO POR ASPERCION TRAMO 9 TAJO FERROBAMBA	MSF	J.V.R

2.- PERSONAS CLAVES

Sponsor del Proyecto: *Zetti G.*

Dueño del Proyecto: *Manuel Al.*

Gerente del Proyecto: *Ricardo Ze.*

3.- DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL ALCANCE DEL PROYECTO

PART A - Planteamiento/definición del problema

Condiciones actuales

Un factor clave en la operación de las Bambas es el cuidado del medio ambiente y la salud de los trabajadores, En las Bambas se tiene un periodo de lluvias de aproximadamente 4 meses y se tiene un periodo seco de 8 meses en los cuales es necesario el control de polvo en las vías.

Actualmente se tiene 4 Cisternas KOM HD1500 propias y una cisterna CAT 740B alquilada a la empresa EPSA, las cuales resultan insuficientes para cubrir los 28.6 Km de vías mineras que tiene el Tajo Ferrobamba. En el grafico 1 se muestran las vías mineras actuales.

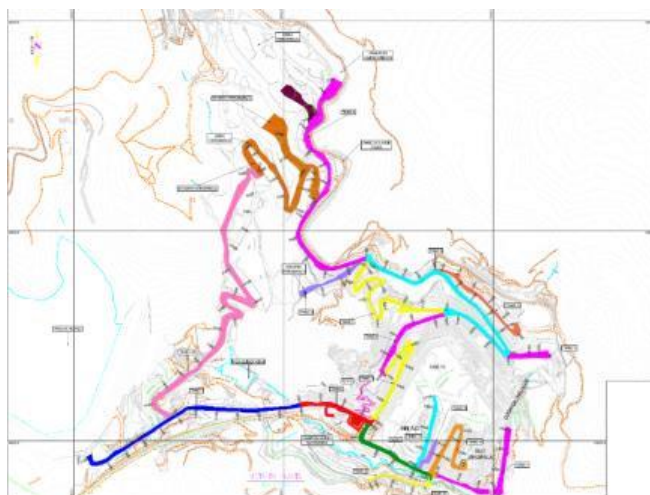


Figura 19—Vías mineras Tajo Ferrobamba

Se tiene instalado un sistema de riego por aspersion en parte del tramo 1, tramo 0 y HR1 los cuales han disminuido de manera considerable la polución en dichos tramos y mejorando por ende las condiciones de operación de los camiones mineros como se muestra en la figura1. Según el plan de minado se prevé un aumento en las vías mineras para los siguientes años.



Figura 20— Instalación de aspersores Tajo Ferrobamba

Lo propuesta es instalar el sistema de riego por aspersión para los tramos 9 y 2 que se presenta en el grafico 2 y 3. Y que tienen

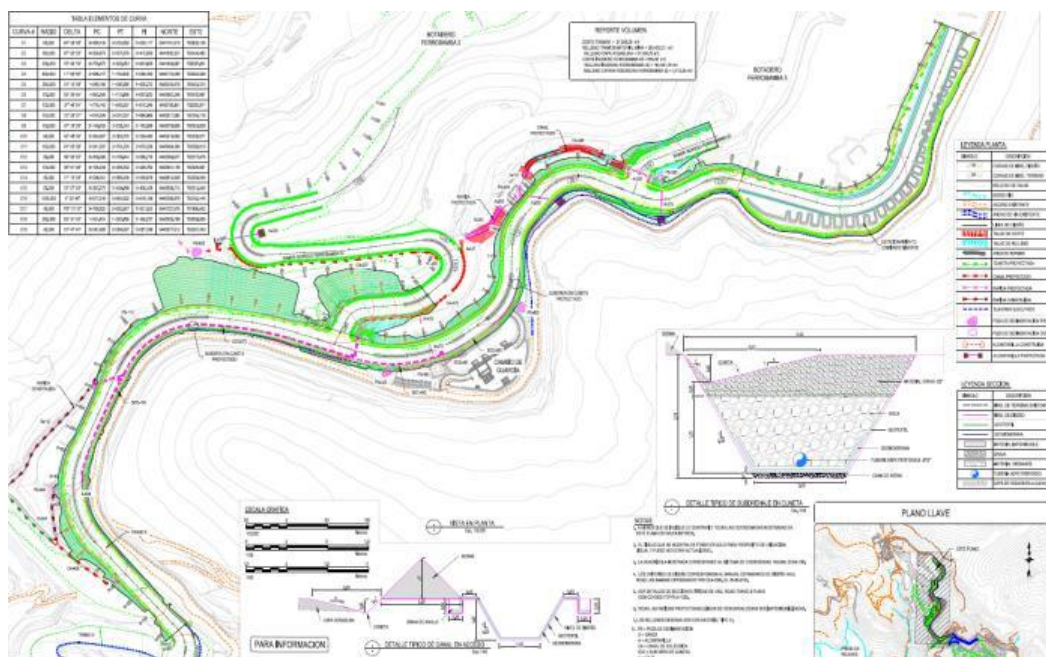


Figura 21—Vía Tramo 9 Tajo Ferrobamba

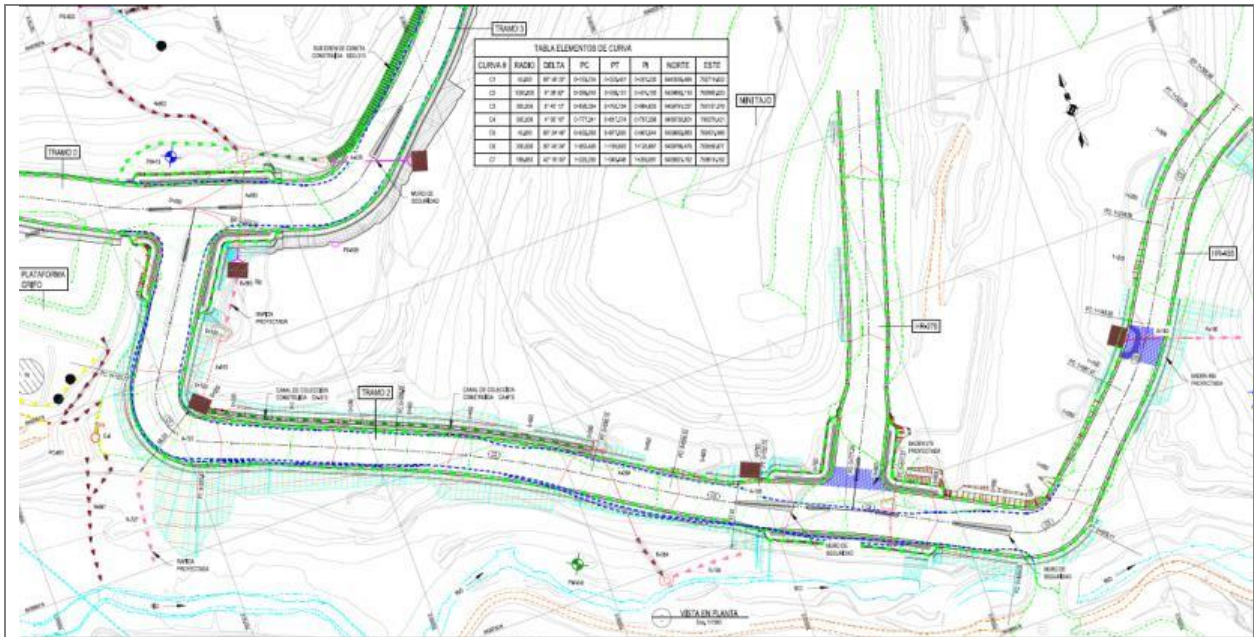


Figura 22— Vía Tramo 2 Tajo Ferrobamba

Condiciones sub/estándares y/o necesidad (Planteamiento/definición del problema)

El mantenimiento y habilitación constante de las vías de acarreo de Operaciones Mina hace que los recursos propios actuales no cubran el requerimiento para mantener vías de acarreo óptimas (capacidad de material triturado). Esta necesidad hace que el mantenimiento y habilitación de vías de acarreo se realice principalmente por servicios contratados.

ANEXO II.: PLANO DE REFERENCIAS

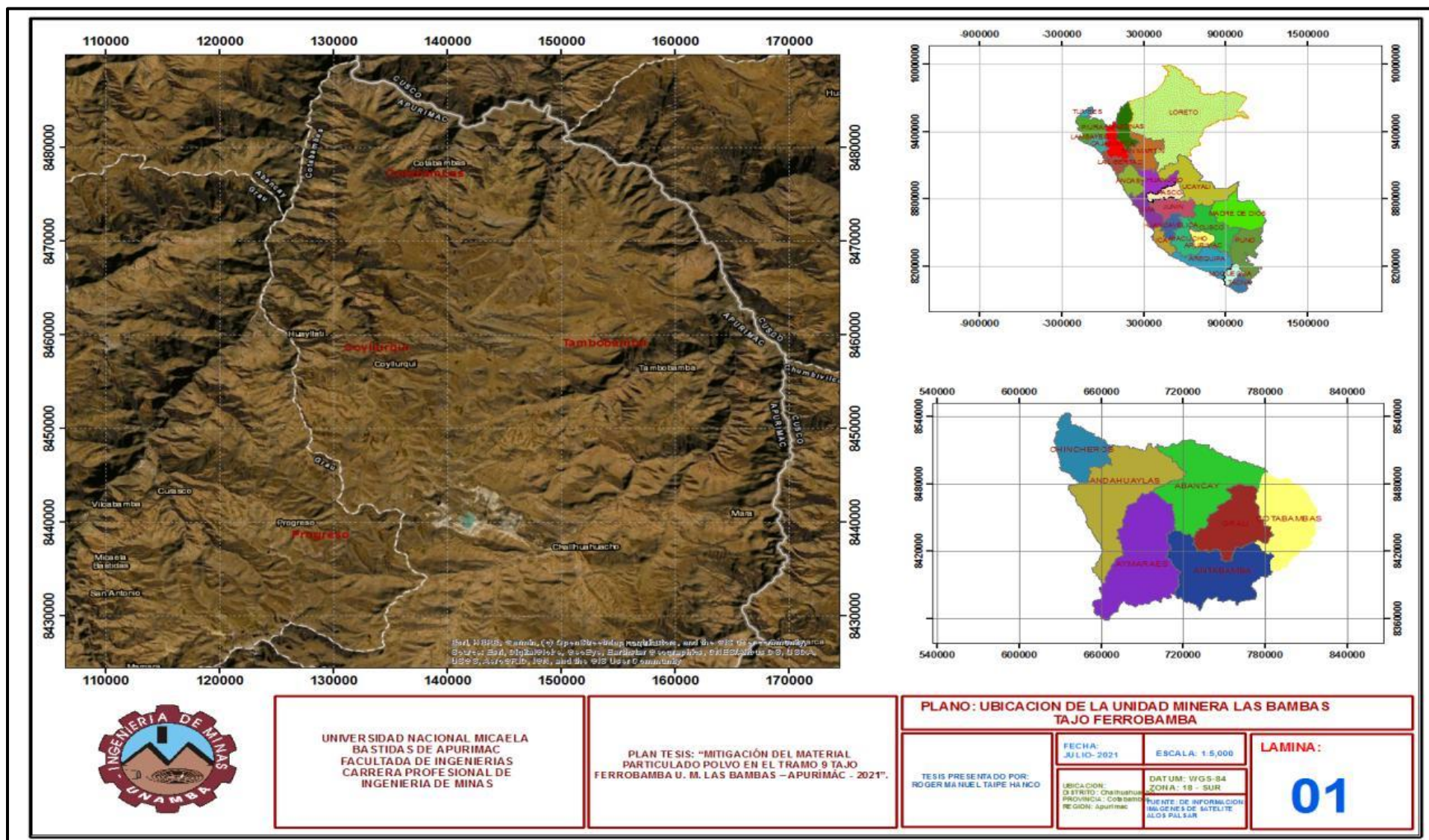


Figura 23—Plano de ubicación U.M Las Bambas

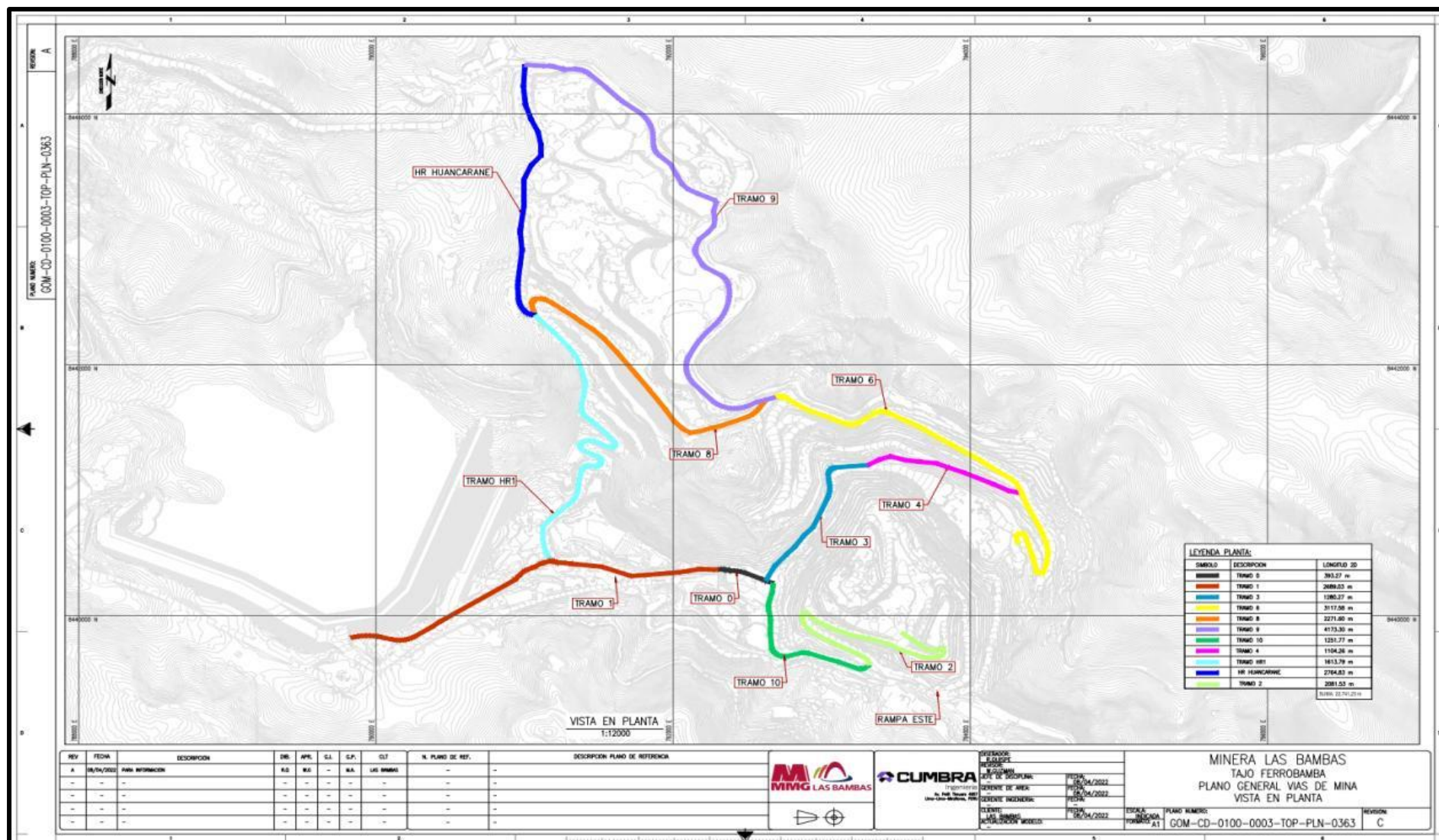


Figura 24— Plano de ubicación tramo 9

ANEXOS III: LISTA DE SUMINISTROS

Tabla 16—Lista de suministros

IT	DESCRIPCION
SUMINISTRO DE ACCESORIOS	
1	Gabinete metálico. Grado de protección IP67 incluye accesorios electricos para la conmutacion de las electrovalvulas operado por panel tipo touchcreeen de 10.4" para la modificación y visualización de parametros incluye PLC controlador de secuencias alimentación de 220 AC y salida 220 AC con supresor de picos de voltaje tensión con grado de protección IP65, conexión electrica tipo Fieldbus integrado al controlador. Control y monitoreo del sistema de forma local y remota desde PC, laptop o smartphone via internet
3	Cañón tipo Turbina. Conexión hidráulica: 1 1/2". Rango de presión: 0 ... 5 bar (75 PSI). Consumo de agua @ 75 PSI: 30.2 m3/h. Radio de alcance @ 75 PSI: 37 m. Intensidad horaria @ 75 PSI: 6.3 mm/h. Radio de giro: 360° regulable para ángulos menores . Rompechorro regulable.
4	Válvula reductora de presión. Conexión 6" ANSI B16.42 (#150). Presión máxima: 16 bar (232 PSI). Capacidad de flujo con un dP= 1 bar: 200 m3/h. Materiales: Body and Cover:Electrostatic Polyester Powder, RAL 5010. Coated Ductile Iron. Spring: Stainless Steel 302. Diaphragm: Nylon fabric Reinforced NR with rugged insert Bolts, Studs and Nuts: Zinc-Cobalt plated Steel
5	Válvula de paso con accionamiento eléctrico. Conexión: bridada 2". Flow rate: 63 m3/h. Presión : 150-285 PSI. Materiales: Cuerpo de acero al carbon y disco SS 316. Asiento : RPTFE. Actuador Eléctrico: Alimentación: 230 AC. Consumo de potencia: 48W. entrada conducto eléctrico ½" NPT - para Control y Alimentación. incluye gabinete de PVC para protección ante lluvias y polvo.
6	Válvula mariposa con accionamiento eléctrico. Conexión: bridada tipo wafer 4". Flow rate: 165 m3/h. Presión : 150 - 285 PSI. Materiales: Cuerpo de acero al carbono y disco SS316 Asiento : RPTFE Conexiones : Tipo Wafer para bridas PN10/16/ANSI 150. Actuador Eléctrico: Alimentación: 230 AC. Tren de engranajes de Acero de Alta Aleación Autobloqueante. Sujetadores de Acero Inoxidable. 2 entradas conducto eléctrico ½" NPT - para Control y Alimentación. incluye gabinete de PVC par protección ante lluvias y polvo.
7	Válvula mariposa con accionamiento manual. Conexión: bridada tipo wafer 4". Flow rate: 165 m3/h. Presión : Max. 225 PSI. Materiales: Cuerpo : Hierro Fundido ASTM A126. Disco : Acero Inoxidable ASTM A351 gr. CF8M (SS316). Vástago : Acero Inoxidable ASTM A416. Asiento : EPDM. Conexiones : Tipo Wafer para bridas PN10/16/ANSI 150.
8	Válvula bola con accionamiento manual. Conexión: roscada 2". Flow rate: 260 m3/h. Presión : Max. 225 PSI. Materiales: Cuerpo : Hierro Fundido ASTM A126. bola : Acero Inoxidable ASTM A351 gr. CF8M (SS316). Asiento : EPDM.
9	Conector vitaulic salida 2" roscada. Dimensiones: 6in. Materiales: Hierro Fundido ASTM A126. Presión max. 300 PSI
13	Brida Slip On de 2" en acero al carbono roscado
14	Filtro tipo Tee con malla bridado 6 IN Cuerpo : Hierro Fundido ASTM A126 (200PSI)
15	Manómetro de Glicerina. Rango de presión: 0 - 300 PSI. Conex. 1/8NPT
16	Accesorios para instalación de manómetros: válvula de paso, niples, codos, etc.
17	Tubo Conduit Flexible para Conductores eléctricos. Diametro 2"(mts)
18	Tubo Conduit Flexible para conductores electricos. Diametro 1/2" (mts)
19	Reducción BUSHING 2" - 1/2"
20	Prensaestopa de LSZH con tuerca IP 68

ANEXO IV: LIMITE MAXIMOS PERMISIBLES DE LAS PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN PM10 Y PM2.5

Tabla 17—Limite máximos permisibles de las partículas en suspensión PM10 y PM2.5

Material particulado (PM10) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0-75	$I(\text{PM}_{10}) = [\text{PM}_{10}] * 100/150$
51-100	76-150	
101-167	151-250	
> 167	> 250	

Material particulado (PM2,5) promedio 24 horas		
Intervalo del INCA	Intervalo de concentraciones ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecuación
0-50	0 -12,5	$I(\text{PM}_{2,5}) = [\text{PM}_{2,5}] * 100/25$
51-100	12.6-25	
101-500	25,1-125	
> 500	>1 25	

Cuidados y recomendaciones según categoría de Calidad del Aire

CATEGORÍA	CUIDADOS	RECOMENDACIONES
Buena	La calidad del aire es satisfactoria y no representa un riesgo para la salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre.
Moderada	La población sensible (niños, tercera edad, madres gestantes, personas con enfermedades respiratorias crónicas y cardiovasculares) podría experimentar algunos problemas de salud.	La calidad del aire es aceptable y cumple con el ECA de Aire. Puede realizar actividades al aire libre con ciertas restricciones para la población sensible.
Mala	La población sensible podría experimentar problemas de salud. La población en general podría sentirse afectada.	Mantenerse atento a los informes de calidad del aire. Evitar realizar ejercicio y actividades al aire libre.
Umbral de cuidado	Toda la población puede verse afectada gravemente en la salud.	Implementar estados de alerta.

Extraído de: Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014

ANEXO IV: FOTOGRAFÍAS DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ASPERSIÓN EN EL TRAMO 9



Figura 25— Sistema de aspersión en funcionamiento tramo 09



Figura 26— Encendido del aspersor N° 03 en el tramo 09



Figura 27—Encendido de los aspersores N° 4 y 5 en el tramo 09



Figura 28—Sistema de abastecimiento de camiones cisterna (garzas)



Figura 29—Acopio temporal de agua (sumideros)



Figura 30—Abastecimiento de agua al camión cisterna Komatsu HD1500-8



Figura 31— Tendido de tubería HDPE 6” en el Tramo 09



Figura 32— Cableado eléctrico sobre berma para cañones aspersores en el Tramo 09



Figura 34— Instalación de sistema de control para abastecimiento de camiones cisterna



Figura 33— Instalación de aspersores sobre berma en el Tramo 09