



GUÍA BUENAS PRÁCTICAS EN EL ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y MANIPULACIÓN DE GRANELES SÓLIDOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES



Ministerio del
Medio
Ambiente

Gobierno de Chile

SEREMI
Región de Valparaíso

Ministerio del
Medio Ambiente



GUÍA BUENAS PRÁCTICAS EN EL ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE, Y MANIPULACIÓN DE GRANELES SÓLIDOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

Resumen Ejecutivo

En el país existe un auge de la actividad portuaria producto de los tratados de libre comercio que ha sostenido el país en los últimos años, en concreto existen alrededor de 24 terminales marítimas tanto multipropósitos Como de graneles sólidos y líquidos (DOP, 2009) ⁽¹⁾. Producto de estas infraestructuras, y del proceso de traslado y manejo de graneles, un aspecto importante a considerar desde el punto de vista ambiental, son las emisiones de partículas sedimentables y de suspensión que se generan en estas actividades.

La manipulación de materiales sólidos, siempre conlleva la probabilidad que las actividades relacionadas, provoquen emisiones de partículas sedimentables y en suspensión. La tendencia de las partículas para pasar al ambiente atmosférico (o generar emisiones), está directamente relacionada con las características físicas del material⁽²⁾ sumado a ello, que ante determinadas condiciones meteorológicas locales, el uso de tecnologías inadecuadas y las prácticas operacionales inadecuadas pueden ocasionar alteración en los niveles de la calidad del aire en las inmediaciones de la instalación.

Para reducir estos impactos, se han diseñado diversos modelos de instalaciones especiales para la carga y descarga, transporte y almacenamiento de graneles sólidos, como el cemento y el clinker. No obstante, no todas las los sólidos admiten este tipo de instalaciones, no justificadas en ocasiones, por su elevado coste o por las propiedades físico-químicas de las mismas.

La decisión de optar por alguna estrategia orientada a la minimización de emisiones de partículas, debe considerar las características del granel sólido como son la granulometría (distribución granulométrica) y la densidad del material acopiados, la capacidad de reacción con otros materiales debido a que las eventuales pérdidas de material, pueden conducir a aplicar medidas atenuantes como la aplicación de productos que reaccionen entre sí y se genere una situación de riesgo químico o deteriore el producto provocando pérdidas mayores.

(1) DOP 2009 Política de INFRAESTRUCTURA Portuaria y Costera Al 2020

(2) Institut national de recherche et de securite (inrs).

En el ámbito local, en las comunas de Quintero y Puchuncaví existen actividades de almacenamiento y manejo de materiales asociadas tanto a las operaciones portuarias como a otro tipo de actividades que requieren este proceso. Por una parte, Puerto Ventanas realiza los procesos de carga y descarga de carbón, concentrado de cobre, ácido sulfúrico, hidrocarburos, clinker, pet coke, trigo y maíz además del almacenamiento de alguno de estos productos cuya capacidad bordea las 225 mil toneladas. Existen además los acopios de carbón en cancha perteneciente a las centrales térmicas, concentrados de cobre de la fundición Ventanas, Depósitos de cenizas de combustión, acopio de pet coke cada cual con los correspondientes manejo y transportes internos y al exterior de las instalaciones.

Una Guía de Buenas Prácticas corresponde a un documento elaborado por los Servicios Públicos con competencia Ambiental en el marco del Programa para la Recuperación Ambiental y Social⁽³⁾ y en concordancia con el sector privado asociado a dichas actividades, en el cual y con carácter general, se establecen disposiciones y recomendaciones basadas en aspectos técnico-científicos, en la experiencia nacional e internacional con respecto de condiciones específicas que se deben considerar en las instalaciones y operaciones asociadas a la manipulación, almacenamiento y transporte de gráneles sólidos. Lo anterior implica la potencial incorporación de instrucciones técnicas y operativas y/o acordar mejoras que afecten el equipamiento existente en la actividad; todo ellos dirigidos a reducir los impactos ambientales, específicamente provocado por las emisiones de material particulado de dichas actividades.

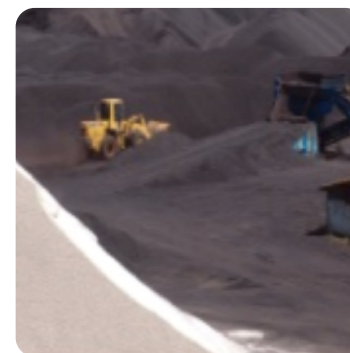
El propósito de esta Guía, es orientar al sector portuario e industrial en materia ambiental, entregándole herramientas de prevención y control de la contaminación para un manejo adecuado de sus procesos productivos en materias de gráneles sólidos, estableciendo procedimientos y criterios armonizados basados en las Mejores Técnicas Disponibles, para el transporte, almacenamiento y manejo de estos graneles.

(3) *Pras: programa de recuperación ambiental y social para las comunas de quintero y puchuncaví.*

Índice

1. Introducción	15
1.1. Objetivo	16
1.2. Objetivos específicos	16
1.3. Metodología de elaboración	18
1.4. Impactos asociados a la operación con graneles sólidos	19
1.5. Normativa aplicable	20
1.6. Modo de uso de la presente guía	24
1.7. Identificación general de operaciones y actividades relacionadas con la generación de emisiones de polvo	25
1.8. Factores determinantes en el desempeño ambiental de las operaciones y actividades relacionadas con la generación de emisiones de polvo	28
1.8.1. Modelo de operación	29
1.8.2. Características de los graneles según su grado de dispersabilidad o pulvurulencia	30
1.8.3. Factores climáticos y meteorología	31
1.8.4. Instalaciones y tecnologías utilizadas o disponibles	32
1.8.5. Mantenición	32
1.8.6. Operativa	32
2. Enfoques para el control de emisiones ligadas al almacenamiento, manejo y transporte de graneles sólidos	35
2.1. Control e inspección	38
2.2. Almacenamiento de graneles sólidos: modelos de almacenamiento.	38
2.2.1. Almacenamiento cerrado de graneles sólidos: enfoques constructivos.	39
2.2.2. Almacenamiento de graneles al aire libre	45
2.2.3. Enfoques operacionales de carácter general aplicados al almacenamiento de graneles sólidos	49
2.2.4. Enfoques técnicos aplicados al almacenamiento de graneles sólidos. Medidas de carácter general	54

2.3. Manipulación de graneles sólidos	58
2.3.1. Identificación de equipos utilizados en operaciones de manipulación y transferencia de graneles sólidos	58
2.3.2. Enfoques operacionales aplicados a la manipulación y transferencia de graneles sólidos	65
2.3.3. Enfoques técnicos en la manipulación de graneles sólidos	69
2.4. Transporte de graneles sólidos: camiones o vagones de ferrocarril	72
2.4.1. Transporte ferrocarril	72
2.4.2. Transporte por camión	73
2.4.3. Buenas prácticas técnicas y operacionales asociadas al transporte terrestre de graneles sólidos.	74
2.5. Métodos y técnicas secundarias o adicionales en la manipulación de materiales pulvulentos o dispersables	78
2.5.1. Sistema lavado rueda de vehículos motorizados	78
2.5.2. Sistemas de captura de polvo por atomización o nebulización	80
2.5.3. Barreras cortavientos, pantallas y muros perimetrales	82
2.5.4. Limpieza de suelos y caminos interiores	89
2.6. Meteorología	90
2.6.1. Definición de los niveles de operación	92
3. Metodología de evaluación del impacto de las actividades asociadas a la manipulación y almacenamiento de graneles sólidos	95
3.1. Tipos de graneles	96
A) d1: sólidos de gran dispersibilidad, no humectable	96
B) d2: sólidos de gran dispersibilidad, humectable	96
C) d3: sólidos de dispersibilidad media, no humectable	96
D) d4: sólidos de dispersibilidad media, humectable	96
E) d5: sólidos de no dispersable o ligeramente dispersable	96
3.2. Intensidad	97
3.3. Vulnerabilidad del entorno	99
3.4. Modo de aplicación	104



1. Introducción

Esta guía pretende contribuir al desarrollo de las políticas ambientales aportando antecedentes técnicos y metodológicos disponibles que permitan establecer un plan de mejora de eficiencia ambiental en la operativa con gráneles sólidos. Por ello, este documento está orientado a instalaciones portuarias, industriales o centros logísticos o cualquier instalación que contemple actividades de almacenamiento, transporte y/o manipulación de materiales sólidos pulverulentos. La manipulación incluye las operaciones de mezclado, almacenamiento, separación, clasificación, transferencia y reducción de tamaño.

Se incluyen los espacios de dominio público portuario y actividades necesarios para la operativa integral de la manipulación y el almacenamiento de gráneles que tengan lugar en la zona portuaria (titular de la concesión, empresas estibadoras, cargadores, transportistas) y todas aquellas otras que manipulen o almacenen gráneles sólidos de forma puntual en la zona de servicio o complementarias.

Para efectos de la aplicación de la presente guía, se considerarán gráneles sólidos aquellos productos que son transportados sea en camiones, bodegas de buques u otro medio de transporte, sin embalaje en forma homogénea bajo aspecto de material suelto y que pueden ser manipulados en forma continua.

Por otra parte, la presente guía se orienta a las actividades identificadas anteriormente denominadas Actividades Propias y Actividades Anexas excluyendo las actividades de contingencia definida en los planes de cada instalación y/o en los instrumentos legales vigentes.

1.1. Objetivo

La Guía de “Prevención de Emisiones Difusas para Actividades de Almacenamiento, Manipulación y Transporte de Gráneles Sólidos” pretende establecer criterios ambientales de operaciones de carga, descarga, transporte, almacenamiento u otras actividades de manipulación de gráneles sólidos. Dichos criterios están basados en aspectos técnicos, en la disponibilidad de opciones tecnológicas y en las acciones operacionales cuyo fin es la reducción de las emisiones de material particulado susceptibles de desplazarse en la atmósfera a corta o gran distancia, y que pueden tener efectos perjudiciales para la salud humana, el medio ambiente y la propiedad. El co-beneficio obtenido, es la reducción de metales pesados que puedan estar contenidos en dichos gráneles.

1.2. Objetivos Específicos

- Clasificar e identificar los gráneles sólidos de acuerdo a su grado de pulvulencia o dispersabilidad y humectabilidad (posibilidad de riego con agua) y con aspectos ambientales significativos, siguiendo un criterio estándar.
- Brindar un instrumento de referencia técnica, de consulta, orientación y de gestión que contenga los lineamientos de acción y establezca criterios unificados de carácter operacional y estructural relacionadas con las actividades de manipulación y almacenamiento de gráneles sólidos.
- Proponer indicadores ambientales cuantificables y medibles.
- Establecer condiciones ambientales locales límite de operación que garanticen la calidad ambiental del entorno.
- Establece instrucciones técnicas que se aprueban en la presente guía.

Con el fin de contribuir al logro de los objetivos citados anteriormente, la guía se estructura en los siguientes capítulos:



1.3. Metodología de elaboración

La presente guía se ha elaborado a partir del análisis realizado a los diferentes proyectos e instalaciones ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Desde ahora SEIA) y al trabajo en terreno de instalaciones del país relacionadas con la manipulación, almacenamiento y transporte de gráneles sólidos. Esta guía, ha sido elaborada en conjunto con los servicios públicos como Secretaria Regional Ministerial de Salud (SEREMI de Salud), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Gobernación Marítima liderado por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente (Seremi de Medio Ambiente) de la Región de Valparaíso.

Por otra parte, se revisó información técnica disponible a nivel nacional e internacional de empresas especializadas en la implantación de medidas de control de emisiones además de información bibliográfica e relacionada con:

- Metodologías de Clasificación de sólidos según su pulvurulencia.
- Tecnologías disponibles aplicadas a controlar impactos por emisiones en operaciones de manipulación, almacenamiento y transporte.
- Ejemplos de aplicación de tecnologías a nivel nacional e internacional.
- Criterios técnicos y ambientales para la implementación de determinadas tecnologías.
- Análisis meteorológicos relacionados con condiciones adversas en las operaciones ligadas a la manipulación, almacenamiento y transporte.

Tras el desarrollo de visitas técnicas realizadas a empresas como Puerto Ventanas, Catamutún, CAP en Huasco, ENAP, entre otras y la revisión de proyectos evaluados en el SEIA, se obtuvo un diagnóstico mediante el cual se evaluaron aspectos como: sistemas de almacenamiento y manipulación, principales impactos ambientales detectados. Medidas de mitigación implementadas, aspectos operacionales utilizados y la incorporación de buenas prácticas en dichas operaciones.



Figura 1.1.
Impactos en la Manipulación de Graneles

1.4. Impactos asociados a la operación con graneles sólidos

La manipulación de gráneles sólidos conllevan a la generación de aspectos ambientales. Si bien la presente guía está orientada a las emisiones a la atmósfera, existen asociados otros aspectos tales como la generación de residuos o efluentes con un impacto negativo en el entorno económico y social.

Si bien no todos los impactos son necesariamente significativos, es importante tenerlos en consideración a la hora de establecer un Plan Ambiental en la operación de la instalación.

A Impactos en la Calidad Ambiental

- a) **Calidad del Aire:** Presencia de partículas sedimentables y respirables que afectan la salud, seguridad y la calidad de vida de los núcleos urbanos próximos.
- b) **Calidad del Agua:** Debido a vertidos a a la dársana de mercancía, así como fluidos hidráulicos de la maquinaria.
- c) **Eutrofización de aguas:** Derrame de mercancías que pueden actuar como nutrientes.

B Impactos en el Entorno Social

- a) **Olores:** Fermentación de productos agroalimentarios.
- b) **Contaminación Acústica:** El funcionar diario es susceptible de generar niveles molestos de ruido.
- c) **Salud:** El material particulado puede provocar problemas respiratorios.
- d) **Seguridad de Instalaciones:** La acumulación de material combustible en zonas de maquinarias sometidas a fricción y calor, pudiendo generar incendios.

C Impactos Económicos

- a) **Contaminación cruzada:** Mercancías alteran su calidad (por tanto su valor) a causa de la presencia de trazas de otros procesos.
- b) **Deterioro de Maquinaria e infraestructura**
- c) **Mermas en la mercancía:** Perdidas economicas a causa de emisiones, vertidos o derrames.
- d) **Desarrollo de plagas:** Crecimiento potencial de aves y roedores, afectar el valor de las mercancías y generando problemas sanitarios.

1.5. Normativa aplicable

La Constitución Política de la República de Chile, asegura a todas las personas, en su Capítulo III, Artículo 19, Inciso 8: “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente”.

En la siguiente tabla se presenta el marco jurídico vigente y competente con la Manipulación, almacenamiento y transporte de gráneles sólidos. Referente a las instalaciones portuarias y Sector Privado.

Tabla 1.1
Marco Jurídico Vigente, aplicable en manipulación, transporte y almacenamiento de gráneles sólidos.

Norma	Ministerio	Materia
Ley 19.300 y su Ley Orgánica	Medio Ambiente	Ley de Bases Generales del Medio Ambiente
D.S N° 40	Medio Ambiente	Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
D.S. N° 144 de 1961	Salud	Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza
Artículos 89 del Decreto con Fuerza de Ley de 1968, Código Sanitario	Salud	El reglamento comprenderá normas como las que se refieren a: a) la conservación y pureza del aire y evitar la presencia de materias u olores que constituyan una amenaza para la salud, seguridad o bienestar del hombre o que tengan influencia desfavorable sobre el uso y goce de los bienes.
Artículos 80 y 81 del Decreto con Fuerza de Ley de 1968, Código Sanitario	Salud	Se regula la instalación y el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase. Además se establecen los requisitos que deben reunir los vehículos que transporten basuras y desperdicios.

(Continuación)

Norma	Ministerio	Materia
D.S. N°47, de 1992. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Actualizada al 21 de Marzo del 2016 - incorpora modificaciones D.S. N°50 - D.O. 04.03.16 y D.S. N°37 - D.O. 21.03.16).	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Los establecimientos industriales o de bodegaje serán calificados caso a caso por la Secretaría Regional Ministerial de Salud respectiva, en consideración a los riesgos que su funcionamiento pueda causar a sus trabajadores, vecindario y comunidad. Claifica las actividades de: Inofensiva, contaminante, peligrosa, insalubre
D.S. N° 59 del publicado en el D.O. el 25 de mayo de 1998. Modificado por el D.S. N° 45 del MINSEGPRES, publicado en el D.O el 11 de sep. De 2001.	Secretaría General de la Presidencia	Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia.
D. S. 12/11	Medio Ambiente	Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP _{2,5}
D.S. 10/2015	Medio Ambiente	Declara zona saturada por material particulado fino respirable MP _{2,5} como concentración anual y latente como concentración diaria, y zona latente por material particulado respirable MP ₁₀ como concentración anual, a las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví.
D.S. N°346/93	Ministerio de Agricultura	Declara como zona saturada por anhídrido sulfuroso y material particulado respirable a la zona circundante al Complejo Industrial Ventanas, en las áreas jurisdiccionales de las comunas de Puchuncaví y Quintero.
Ley N°2.222 de 1978, Ley de Navegación.	Defensa	Se establece en su título IX la prohibición de arrojar lastre, escombros o basuras y derramar petróleo, aguas de relave de minerales u otras materias nocivas, que ocasionen o puedan ocasionar daños o perjuicios a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional y en puertos, ríos y lagos.
D. S. N° 820 de 1993	Defensa.	Establece el régimen de prevención, vigilancia y combate de la contaminación en las aguas del mar, puertos, ríos y lagos sometidos a la jurisdicción nacional.

(Continuación)

Norma	Ministerio	Materia
D.S. Nº 1 de 1992 que establece el Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática y sus modificaciones Decreto Supremo Nº 840 de 1993, Decreto Supremo Nº 841 de 1993 y su Decreto	Defensa Subsecretaría Marina	Se establece el régimen de prevención, vigilancia y combate de la contaminación en las aguas de mar, puertos, ríos y lagos sometidos a la jurisdicción nacional, prohibiéndose arrojar lastre, escombros o basuras y derramar petróleo, aguas de relave de minerales u otras materias nocivas, que ocasionen o puedan ocasionar daños o perjuicios a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional y en puertos, ríos y lagos
D.S. Nº75 de 1987 modificado por el D.S. Nº78 de 1997	Transporte y Telecomunicaciones	Establece que los vehículos que transporten desperdicios, arena, tierra, ripio u otros materiales, ya sean sólidos o líquidos, que puedan escurrirse o caer al suelo, estarán contruidos de forma que ello no ocurra por causa alguna. Además agrega que en las zonas urbanas, el transporte de material que produzca polvo, tales como escombros, cemento, yeso, etc. Deberá efectuarse siempre cubriendo total y eficazmente los materiales con lonas o plásticos de dimensiones adecuadas, u otro sistema que impida su dispersión al aire. Establece las condiciones aplicables a los elementos de sujeción y protección de carga.
D.S. Nº 298 de 94 Reglamenta Transporte de cargas peligrosas por calles y caminos.	Transporte y Telecomunicaciones.	Se regulan las normas y condiciones, así como los procedimientos para el transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características sean peligrosos o representen riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.
Norma Chilena 2245 de 2003, Sustancias Químicas Hoja de Datos de Seguridad	Transporte y Telecomunicaciones.	Se establecen los contenidos e información mínima de la Hoja de Datos de Seguridad para la sustancia que se transporta, donde se indican los riesgos para las personas y el medio ambiente asociados al transporte de esta sustancia.
Norma Chilena 2120 de 2004, Sustancias Peligrosas.	Transporte y Telecomunicaciones.	Establece Clase o División, riesgo secundario, grupo de embalaje/ envase, disposiciones generales

(Continuación)

Norma	Ministerio	Materia
D. S. Nº 298 de 95 Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos	Transporte y Telecomunicaciones	Establece las condiciones, normas y procedimientos aplicables al transporte de carga, por calles y caminos, de sustancias o productos que por sus características, sean peligrosas o representen riesgos para la salud de las personas, para la seguridad pública o el medio ambiente.
Ley General de Pesca y Agricultura, cuyo texto fue fijado por D.S. Nº430 de 1991	Economía Fomento y Turismo	Establece sanciones para el que introdujere o mandare introducir en el mar, ríos, lagos o cursos de aguas, agentes contaminantes que causen daños a los recursos hidrobiológicos, sin previa neutralización.
D.S. Nº 476 de 77	Relaciones Exteriores	Se promulga el Convenio sobre la Prevención de la contaminación del Mar por Vertido de Desechos y otras Materias que regula el control efectivo de las fuentes de contaminación del medio marino, comprometiéndose las partes contratantes a adoptar todas las medidas posibles para evitar el vertimiento de desechos y otras materias que puedan constituir un peligro para la salud humana, dañar los recursos biológicos y la vida marina, reducir las posibilidades de esparcimiento o entorpecer otros usos legítimos del mar.

1.6. Modo de uso de la presente guía

Para definir un programa de mejora de la eficiencia ambiental en la operación con graneles, se propone hacer uso de la guía según la siguiente secuencia:

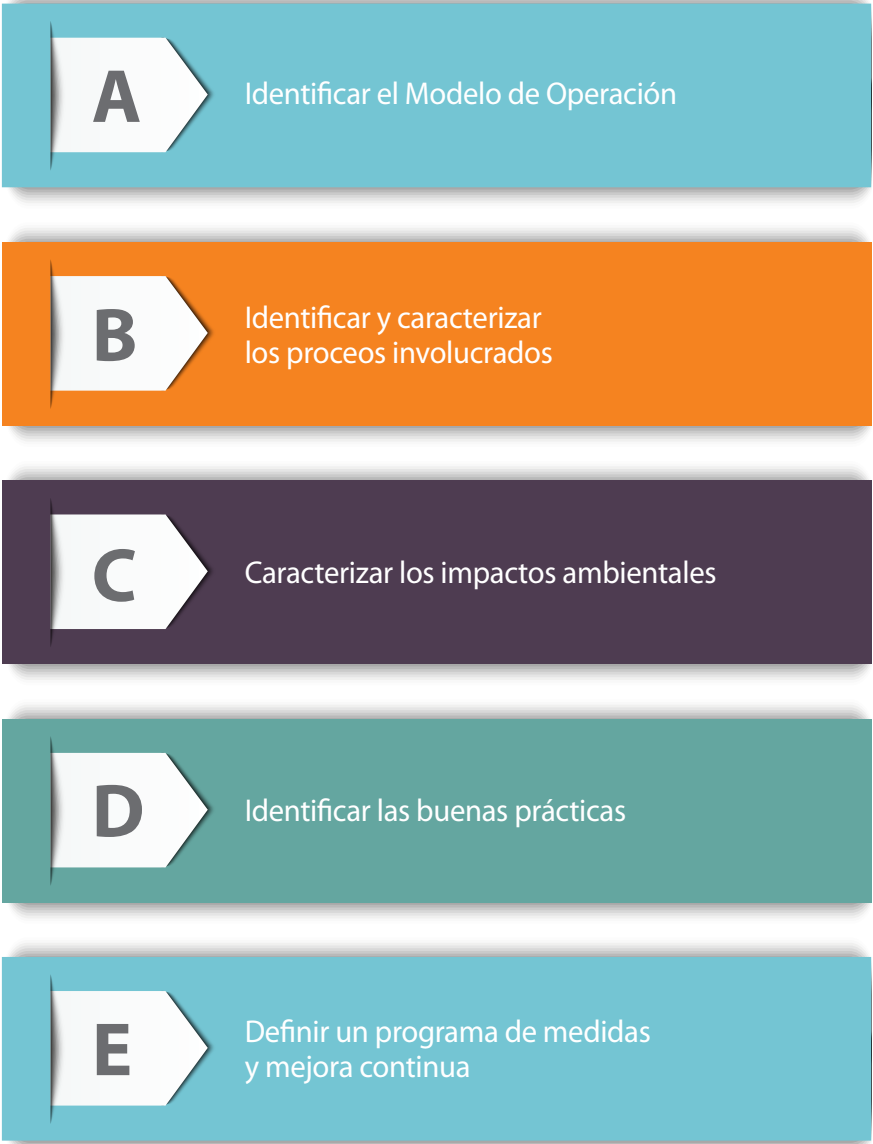
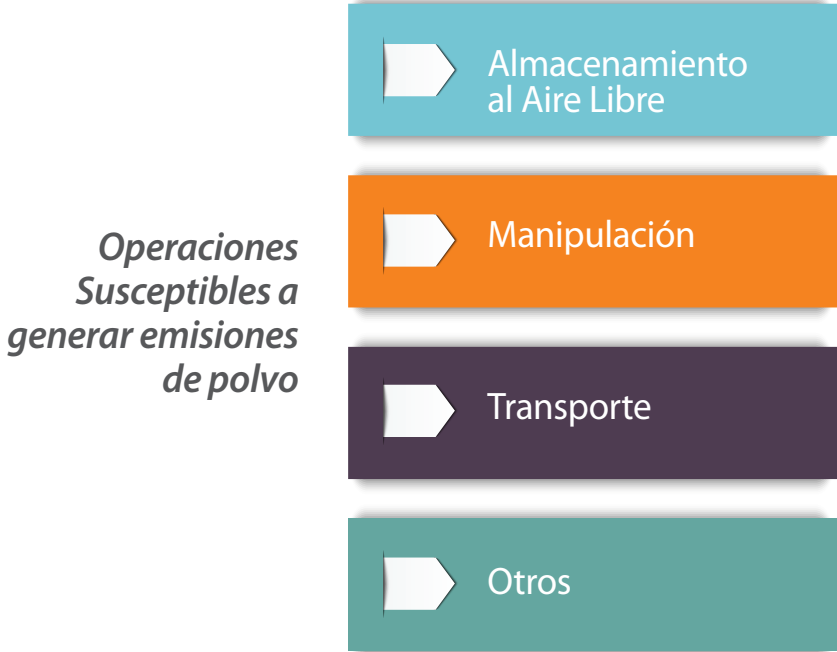


Figura 1.2.
Emisiones en Operaciones con graneles



1.7. Identificación general de operaciones y actividades relacionadas con la generación de emisiones de polvo

Para efectos de la presente Guía se identifican tres actividades relacionadas con la Operativa de Graneles Sólidos: Almacenamiento, Manipulación y Transferencia y Transporte. Cada una de ellas contempla dependiendo de los procesos involucrados, un sinnfín de sub operaciones y/o actividades asociadas que permiten cumplir con los objetivos de dichos proceso. Sin perjuicio de la existencia de un mayor número de operaciones, en el presente capítulo se identifican las principales operaciones susceptibles de generar emisiones difusas de material particulado por concepto de manipulación y almacenamiento de materiales y sólidos pulverulentos:



La siguiente tabla, detalle dichas actividades y las principales causas que originan la dispersión de sólidos en el ambiente.

Tabla 1.2.
Ejemplo de causas de emisión de Material Particulado en Condiciones Ordinarias de Operación.

Operación	Ejemplo de Actividades asociadas a la operación	Causas
Manipulación y transferencia	 a. Descenso de material por gravedad	Altura de caída de material inadecuada. Velocidad de caída de material elevada. A usencia de sistemas de amortiguación como toboganes o tolvas adecuadas que frenen el material, aumentan las presiones en el punto de impacto y con ello, fuga de polvo. Descargas no graduales: la apertura rápida y total favorece los flujos turbulentos en las caídas. Venteo (desplazamiento de aire) al vaciar el material en espacios cerrados como tolvas y camiones.
	 b. Movimiento de palas, operaciones de mezclado	Maniobras de avance y retroceso de la pala al momento de vaciar la carga en tolvas, camiones u otros depósitos dan origen a derrames de material. Desprendimiento de material por caída del mismo en operaciones de apilado, carga, descarga. Pulverización de material por uso de Palas. Dispersión por volteo de palas. Elección de la capacidad del cazo no acorde a la densidad del material.
	 c. Tratamiento o Molienda de Sólidos	Posición incorrecta del cargador frente al camión o vagón durante la descarga. Desprotección en zonas de manipulación, conminución o tratamiento de graneles pulvulentos. Desprotección en zonas de manipulación, conminución o tratamiento de graneles pulvulentos y falta de sistemas supresores de polvo.
	 d. Cargas y descargas hacia y desde distintos medios y operaciones de transferencia en general	Descargas en tolvas semi vacías: La apertura de cuchara en tolvas poco llenas induce al desplazamiento de aire. El nivel idóneo de la tolva se encuentra entre el 50 y70%. Falta de hermeticidad en tolvas y cintas que permiten la fuga de material. Insuficiente o inexistente hermeticidad en las zonas de impacto. Diseño no adecuado del sistema de aspiración o nebulización. Atasco en boquillas de nebulización. Filtros rotos o colmatados.

(Continuación)

Operación	Ejemplo de Actividades asociadas a la operación	Causas
Almacenamiento	 a) Almacenamiento al aire libre	Erosión eólica. Asociado a la manipulación de las mismas. La manipulación de pilas reduce la cohesión entre partículas y aumenta el área expuesta al viento. Diseño inadecuado de Pilas con superficies abruptas y su inadecuada altura y disposición provocan zonas de turbulencia y arrastre de material. Falta de humectación o sistemas de compactación.
	 b) Almacenamiento en bodegas o hangares	Asociado a la manipulación de las mismas. Emisiones desde ventanillas o aperturas no controladas. Filtros captadores de polvo rotos, colmatados o mal diseñados. Emisiones desde ventanillas o aperturas no controladas de galpones y hangares para el caso de bodegas cerradas o semi cerradas.
Transporte por camiones, trenes o similares.	 a. Transportes internos en vehículos o vagones	Camiones no encarpados es una fuente de emisión en especial, a velocidades inadecuadas de circulación. La circulación de máquinas y camiones por el borde los acopios provocan pulverización y dispersión de material por arrastre aerodinámico de los camiones o por acción del viento.
	 b. Traslados o transferencia de mercancía mediante correas transportadoras	Falta hermeticidad o confinamiento sistemas de cintas transportadoras. Diseño inadecuado para el tipo de granel. Falta de mantención cintas. Falta mecanismos supresores de polvo.

(Continuación)

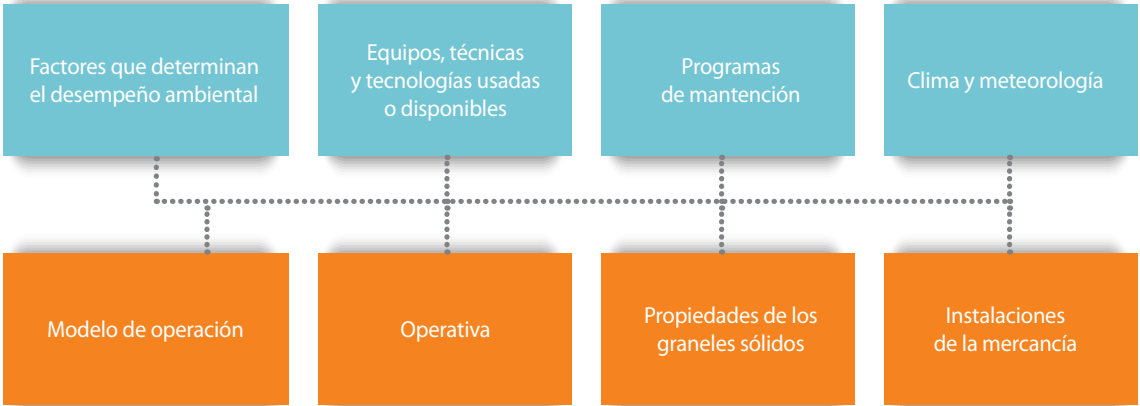
Operación	Ejemplo de Actividades asociadas a la operación	Causas
Otras	Medios de limpieza deficientes o inadecuados	Equipos deficientes o inadecuados en su diseño, pueden aumentar las emisiones o la dispersión de polvo moviéndola de su lugar de origen.
	 Derrames	Capacidad insuficiente de equipos y contenedores o sobrecarga de equipos. Equipos no aptos para el tipo y volumen de graneles. Velocidad inadecuada de caída del granel. Inadecuada o inexistente hermeticidad. Adherencia de la mercancía en cintas o chutes. Inadecuado control de flujo de cintas o el peso. Inadecuado de cucharas, tolvas o camiones. Mal estado de los equipos o sistemas de control 0. Inadecuada coordinación. Deficiente orden y limpieza. Inadecuada destreza o experiencia insuficiente.
	Medios de limpieza deficientes o inadecuados	Pueden influir la falta de mantenimiento de maquinaria y equipos o sistemas de control o la mantención en zonas no adecuadas sin sistemas de recogida de aguas o medios de recogida de derrame de material.

1.8. Factores determinantes en el desempeño ambiental de las operaciones y actividades relacionadas con la generación de emisiones de polvo

Se describe a continuación los factores que determinan el desempeño ambiental en la operación con graneles sólidos el cual está condicionado principalmente por las características del granel, la operatividad, el mantenimiento y las condiciones meteorológicas. El operador debe analizar cada uno de estos factores con el fin de relevar las posibles causas de ineficiencias en su instalación.

Este análisis permitirá identificar objetivamente qué mejoras pueden lograrse modificando procesos operativos, cuáles necesitan inversión, y finalmente qué tipo de mejoras están condicionadas por el modelo de explotación o por las condiciones locales (meteorología).

Figura 1.3. Esquema de Factores que determinan el desempeño ambiental en instalaciones que manipulan Graneles Sólidos



1.8.1. Modelo de operación



Figura 1.4 Manipulación Pilas Confinadas

El desempeño ambiental está condicionado a los modelos de operación que las instalación definen de acuerdo a los equipos e instalaciones utilizados en las operaciones de carga/descarga, transporte y transferencia, almacenamiento, la especialidad y competencia de los operadores y también, como se integran estos equipos e instalaciones. Además, influye el tipo de tecnologías e instalaciones, en sus distintas fases (carga, descarga, entrega, recepción, almacenamiento, entre otros). En otras palabras, el desempeño ambiental depende de entre otros aspectos, del “diseño” de la operación.

En consecuencia se puede concluir que el modelo de operación no sólo condiciona el rendimiento ambiental de la operación, sino también la facilidad con la que es posible asignar responsabilidades y controlar las operaciones.

Dentro de los modelos de operación encontramos modelos de operación discontinuos como grúas, palas o camiones, mueven la mercancía mediante ciclos de carga o continuos como las Cintas transportadoras.

Respecto del almacenamiento, esta operación también incorpora modelos o esquemas de almacenamiento como por ejemplo, operación a canchas abiertas o en sistemas cerrados. La elección de un régimen de operación en continuo o discontinuo, así como el tipo de esquema de almacenamiento está condicionado a su vez, por otros factores como la superficie de la instalación, el flujo de mercancías, los volúmenes de graneles, por las capacidades de especialización de los operadores y supervisores, por las propiedades de los sólidos y por el volumen de inversión requerida.

1.8.2. Características de los graneles según su grado de dispersabilidad o pulvurulencia ⁽⁴⁾

La elección de las Metodologías para el Control de Emisiones y de las Tecnologías Disponibles a utilizar en instalaciones que manipulan y/o almacenan gráneles sólidos depende de la correlación entre las características del territorio donde se emplaza la instalación (población cercana, zona saturada o latente, sitios protegidos, etc.), de la meteorología local y de las características de los sólidos en función de su capacidad para dispersarse.

En términos generales se advierte que las variables más relevantes relacionadas con las propiedades de los sólidos que se deben considerarse a la hora de definir equipos, sistemas de manipulación y/o condicionar las operaciones son:



- a) **Densidad:** Condiciona aspectos operacionales como por ejemplo, los niveles de flujos de las operaciones continuas.
- b) **Ángulo de reposo:** Condiciona tanto el ángulo de estabilidad de un sistema de acopio, como los niveles máximos de carga que permite una cinta transportadora.
- c) **Humectabilidad:** Se relaciona con la cantidad de agua que puede soportar un sólido en graneles para su control sin que este pierda sus propiedades y/o genere pérdidas económicas.
- d) **Adherencia:** El nivel de adherencia de los materiales por ejemplo en cintas transportadoras, palas o neumáticos, gravitan en posibles derrames o facilidad con que dicho material se esparce desde la zona de trabajo.
- e) **Riesgo sobre la salud o la seguridad:** Las sustancias peligrosas, las potencialmente peligrosas y aquellas potencialmente alergénicas tienen requerimientos de manipulación y almacenamiento específicos que condicionan la operativa de toda instalación que los manipula.
- f) **Pulvurulencia:** Determina el porcentaje de partículas que son transportadas fácilmente por el aire siendo esta, una característica relevante al momento de considerar equipos para la manipulación de graneles, sistemas de mitigación y control de emisiones.



1.8.3. Factores climáticos y meteorología

Uno de los efectos más visibles de la contaminación atmosférica es el ensuciamiento y en algunas ocasiones incluso, el deterioro de las superficies por la presencia de material particulado, junto con la afectación directa sobre la salud de la población. La manipulación de gráneles sólidos con todas sus actividades están asociadas a la emisión de material particulado ocasionando niveles de concentraciones críticos o en otros casos, molestias por parte de la comunidad o afectación al entorno a causa del material sedimentable.

La incidencia más evidente de la materia particulada sedimentable es el ensuciamiento que ocasiona⁽⁵⁾. Sin embargo, el muestreo de aerosoles en relación a la salud, implica no sólo la vía de inhalación, sino también la ruta ecológica.

La dispersión de los contaminantes emitidos a la atmósfera depende de aspectos como la rugosidad del terreno, la vegetación, altura de edificios, cercanía al mar, tipo de contaminantes emitidos y de la meteorología.

Dado que las condiciones de meteorología condicionan los niveles de calidad del aire, es importante conocer, evaluar y considerar las variables meteorológicas no solo para conocer cómo se dispersan los contaminantes sino además para que **sean consideradas en los procesos operacionales potencialmente emisores o para la incorporación de nuevas medidas estructurales u operacionales con el fin de minimizar el impacto en el medio ambiente.**

A escala local, la dispersión de las emisiones difusas de material particulado en actividades de almacenamiento, transporte y manipulación de gráneles sólidos dispersables, depende principalmente de la velocidad y dirección del viento, las precipitaciones y la altura de capa de mezcla.

Nota

Conforme a la Environmental Protection Agency (EPA), la velocidad umbral a partir de la cual se producen episodios de contaminación por partículas es de 0,55 m/s para partículas de diámetro medio de 04 mm y de 1,12 m/s para partículas de diámetro medio de 3 mm.

(4) <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/bijlagen-digitale/4-6-stuifklassen>

(5) Vallack and Shillito, 1998, Suggested Guidelines for Deposited Ambient Dust. Atmospheric Environment. 32 (16): 2737-2744.

1.8.4. Instalaciones y tecnologías utilizadas o disponibles

El control adecuado de las emisiones depende en gran parte de la adecuada selección y diseño de los equipos, maquinarias u otras tecnologías, sean estas para la operación propiamente tal o como sistema de control y/o mitigación. En otras palabras, el dimensionamiento y diseño de los equipos utilizados para el manejo de gráneles, debe necesariamente considerar las especificaciones de los sistemas de control y de las técnicas y limitaciones nominales que conlleven a evitar deficientes desempeños ambientales. Sin embargo, también se engloban en este concepto las superficies de trabajo, los sistemas de recolección de aguas (de humectación, aguas lluvias, etc.), las áreas de mantención, los equipos de limpieza.



1.8.5. Mantención

El adecuado mantenimiento de las maquinarias, equipos y de las instalaciones esenciales y complementarias resultan fundamental en los aspectos relacionados con el desempeño ambiental. La mantención debe estar reglada mediante un programa de mantenimiento que no solo cubra aspectos productivos sino además aspectos relacionados con el control de las emisiones de polvo. En especial, a los equipos de control como filtros de polvo, sistemas deflectores de viento, aspersores, etc.

Esta guía en consecuencia, aborda la reducción de las emisiones de polvo considerando todos los factores antes señalados resumidos en métodos y técnicas primarias y secundarias recomendadas y aplicables en las actividades de transporte, manipulación y almacenamiento de sólidos.

Los métodos primarios tienen por objeto **impedir la formación** de polvo mientras que los métodos secundarios **limitar la dispersión o distribución** del polvo cuando no se haya podido impedir su formación. Estas medidas correctoras generalmente se insertan al final del proceso, no interfiriendo en el mismo.

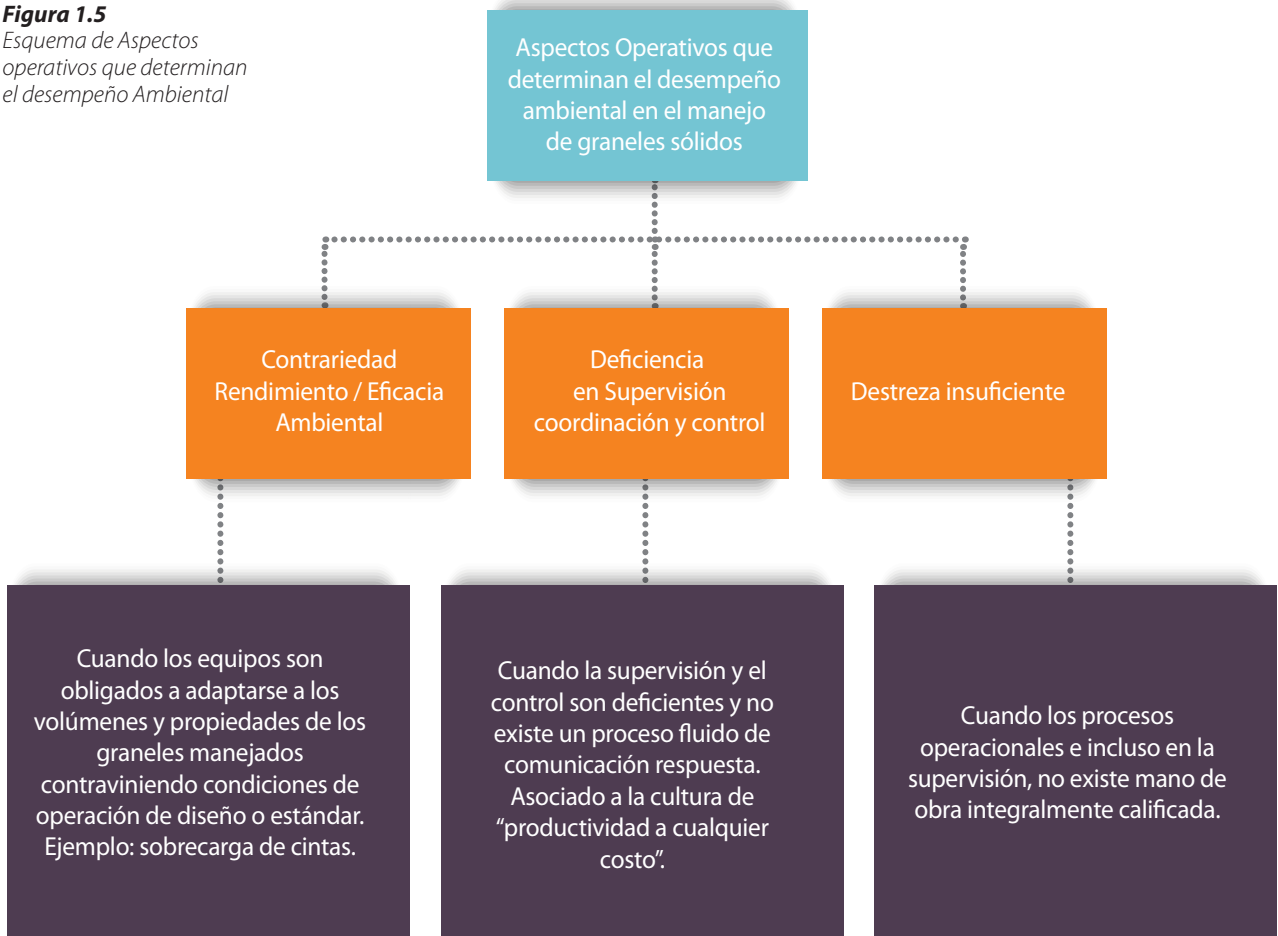


1.8.6. Operativa

La operativa se refiere a la correcta utilización de los equipos y al cumplimiento estricto de los procedimientos y restricciones de operación. A modo de ejemplo se puede mencionar la correcta apertura de las cucharas de descarga, el encarpado de camiones, el nivel de carga de las cintas, el respeto del tope de camiones tolva, etc., son ejemplos de aspectos operativos que contribuyen al control de los aspectos ambientales ligados a la manipulación de graneles.



De modo general, las causas de una mala operación están explicadas por:





2. Enfoques para el control de emisiones ligadas al almacenamiento, manejo y transporte de graneles sólidos

Los Enfoques para el Control de Emisiones (ECE) son métodos de prevención orientados a la reducción o minimización de las emisiones potenciales de las fuentes. En general existen tres métodos que están relacionados con el enfoque de prevención. Estos enfoques pueden ser primarios o secundarios y dependen desde donde se va a abordar el control y la mitigación de las emisiones.

Esta sección tiene por objetivo dar una breve descripción de los métodos de prevención de emisiones ligadas a los procesos de manipulación de graneles sólidos en cualquier etapa, considerando que en general, estas actividades, llevan asociadas un conjunto amplio de operaciones que obligan a la planificación, gestión y coordinación de dichas actividades y en consecuencia influyen en el rendimiento, la calidad y el desempeño ambiental de las operaciones.

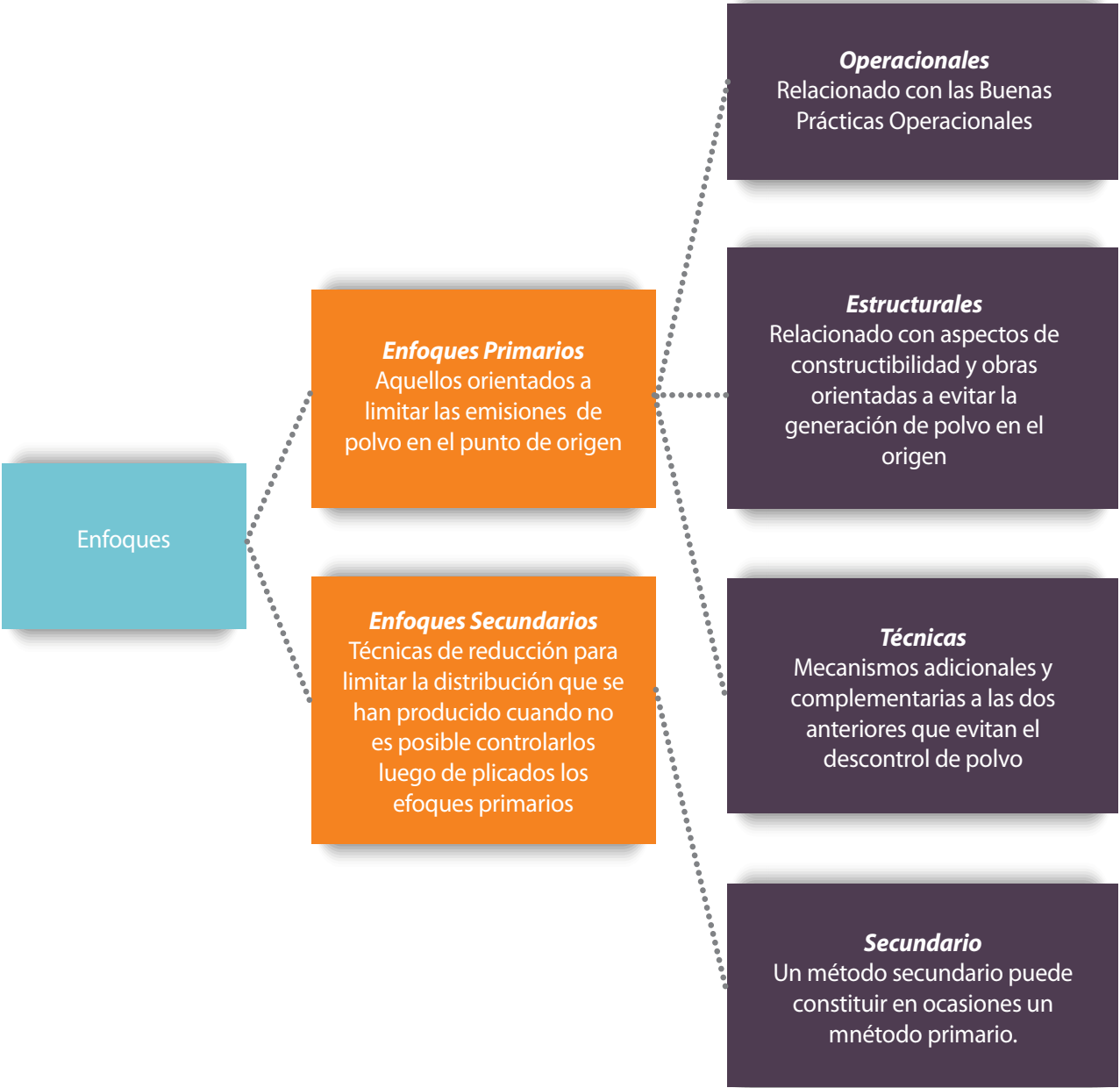
Dependiendo donde se pretenda focalizar la gestión de reducción de las emisiones, dichas medidas pueden ser:

Enfoques Primarios: Estas medidas se focalizan a reducir y controlar las emisiones en el origen a través de medidas operacionales (buenas prácticas) o medidas estructurales (tecnologías y obras de construcción). A veces, estas medidas no son suficientes para la eliminación completa del contaminante. Por ello, no deben emplearse como medidas únicas, sino contemplar medidas adicionales como complemento de la minimización.

Cuando no se consigue reducir la generación de polvo dentro de los límites deseados deben adoptarse medidas correctoras tendentes a eliminar o reducir la distribución del polvo y reducir sus posibles efectos. Estas medidas correctoras generalmente se insertan al final del proceso, no interfiriendo en el mismo y corresponden entonces a los Enfoques secundarios.

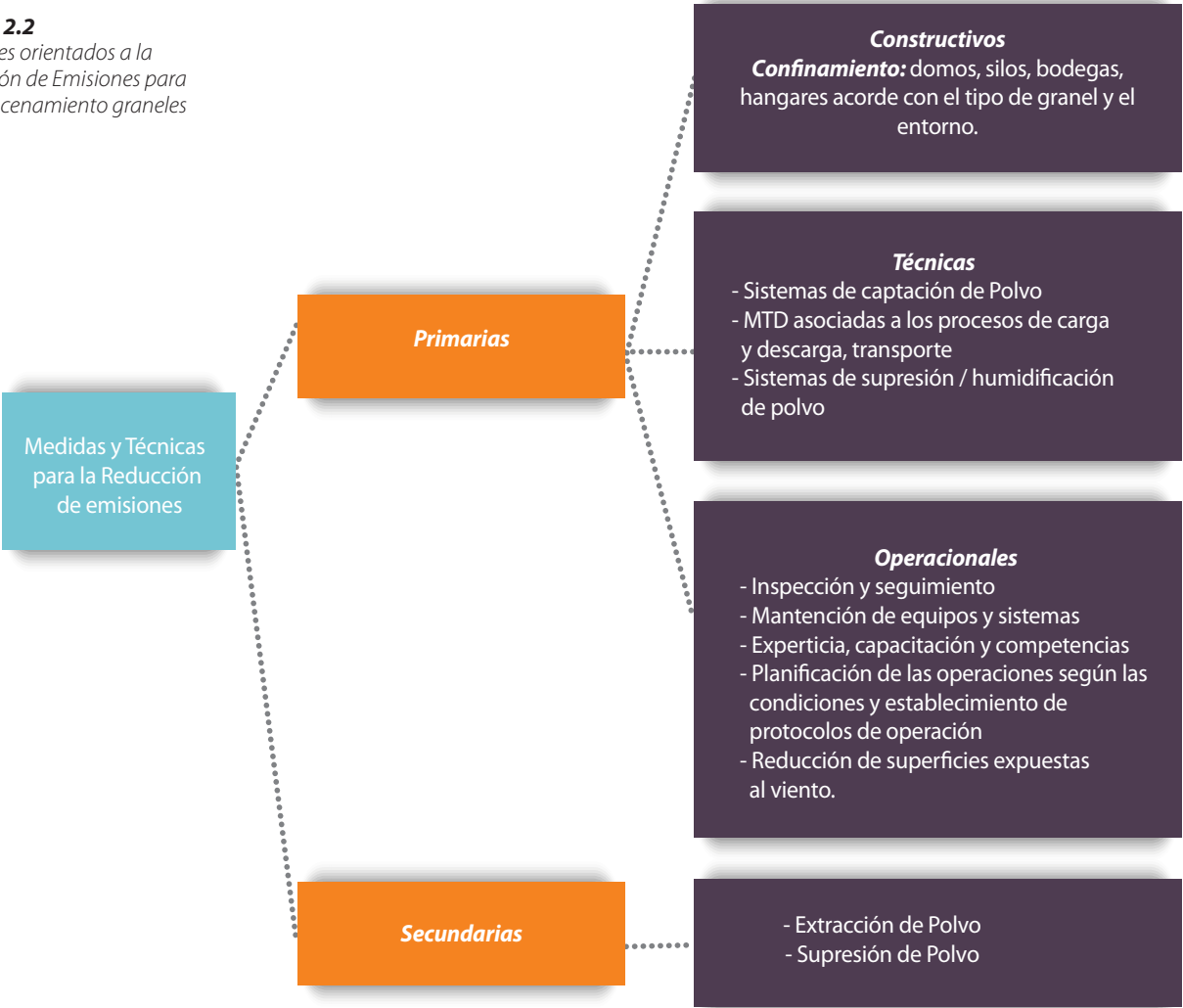
Enfoques Secundarios: Se entienden por medidas correctoras todas aquellas actuaciones o técnicas encaminadas a reducir el impacto de las emisiones, vertidos y residuos en el medio receptor.

Figura 2.1
Enfoques orientados a la reducción de Emisiones en Instalaciones que operan con graneles sólidos.



Las recomendaciones de la presente guía, se basan en la implementación eficiente de medidas y enfoques técnicos, estructurales y operacionales focalizado como Buenas Prácticas Operacionales para el manejo de graneles y mediante la cual se pretende reducir y minimizar las posibles incidencias sobre el entorno y dar a conocer mediante la misma, pautas de conducta ambiental.

Figura 2.2
Enfoques orientados a la reducción de Emisiones para el Almacenamiento graneles sólidos.



Nota 1

Cabe destacar que las técnicas constructivas están principalmente relacionadas con el almacenamiento de Graneles Sólidos .

Nota 2

Es posible que en algunos casos, una medida secundaria constituya a su vez, una medida primaria adicional. Ejemplo: El uso de encostrantes limita la distribución de polvo mediante el riego y a su vez, controla la formación de polvo.

2.1. Control e inspección

El control e inspección es una medida de Buenas Prácticas Operacionales que es transversal a las operaciones de almacenamiento, transporte y manipulación. Consiste principalmente en mantener un sistema de control continuo con sus respectivos indicadores de desempeño que permitan evaluar si las medidas implementadas en el almacenamiento son efectivas o si se presentan fallas. Por ejemplo para el caso del almacenamiento confinado, es necesario verificar permanentemente que no existan roturas en filtros de captura de polvo, escotillas o sistemas de ventilación. La verificación de la correcta operación de los equipos de control y del sistema de almacenamiento global que permitan adoptar las medidas adecuadas.

En el Sistema de control operacional en el almacenamiento cerrado o abierto es válido considerar las inspecciones visuales (emisiones) como también las mediciones de concentraciones de polvo en el aire a través con estaciones de monitoreo de calidad del aire y sedimentables.

En general, la inspección visual periódica de posibles nubes de polvo, entorno a focos emisores, comienza a ser visible cuando se superan los 50 miligramos por metro cúbico.



Nota 1

Todas las medidas adoptadas para el control de emisiones, deben considerar un indicador medible o trazable de desempeño o eficiencia.

Nota 2

La Inspección depende del tipo de producto, modo de almacenamiento y tipo de inspección.

2.2. Almacenamiento de graneles sólidos: modelos de almacenamiento

En términos de sistemas de almacenamiento, este puede ser llevado a cabo mediante dos sistemas: Abiertos o Cerrados. En ambos casos, el diseño del sistema de almacenamiento debe considerar tres aspectos básicos:

- a) La elección de la técnica también definido como forma de explotación. (Ej. Almacenamiento abierto/cerrado)
- b) La forma en que la técnica será utilizada. (Ej. Optimización de la técnica utilizada).
- c) La aplicación de medidas adicionales. (Ej. Humectación, succión, etc.).

Nota

La elección de la técnica o sistema apropiado, se determinará en función de diversos factores tales como la clase de material (características de pulvurulencia), cantidad de material, factores locales o factores ambientales, tecnologías disponibles, características del entorno, etc.

En el caso del almacenamiento, evidentemente las técnicas estructurales o constructivas se refieren solo al almacenamiento cerrado o semi cerrado dentro de las cuales se destacan:

- Silos de gran volumen
- Hangares o tejados
- Bóvedas
- Cubiertas autoinstalables
- Silos o tolvas.

A continuación, se describirán algunas de ellas orientadas a sus respectivos ámbitos de aplicación.

2.2.1. Almacenamiento cerrado de graneles sólidos: enfoques constructivos

2.2.1.1. Almacenamiento Cerrado y/o Semi Cerrado

Consiste en utilizar métodos de almacenamiento confinado como, por ejemplo, silos, depósitos, tolvas y contenedores, para evitar en lo posible la formación de polvo debido al viento a través de medidas primarias. La elección del sistema de almacenamiento cerrado depende especialmente de factores climáticos, del grado de pulvurulencia, de los costos por pérdidas de material, los costos de constructibilidad, el espacio disponible, etc. Se debe considerar el almacenamiento de sustancias del tipo D1 a D3 en bodegas herméticas.

En términos generales y como principio básico, para evitar las emisiones de polvo generadas durante el almacenamiento en recintos cerrados, así como en los procesos de molienda, mezclado, envasado de materiales sólidos dispersables o pulverulentos, se deben considerar sistemas de captación y retención de polvo, tales como extractores, filtros de manga, ciclones, etc.

Las siguientes ECE para el almacenamiento cerrado, están orientadas principalmente a los métodos constructivos y técnicos.

Hangares y Galpones:

Los hangars también denominados tejados, suelen ser una estructura techada con paredes laterales cuyas aperturas permiten la fluida entrada y salida de camiones y personal. El polvo se genera por los mismos procesos utilizados en el almacenamiento al aire libre, pero sólo puede escapar por las aberturas del hangar.

Las bodegas o galpones corresponden a estructuras más cerradas con accesos controlados en los cuales y dependiendo de las características de pulverulencia del material, se requiere de un sistema de ventilación de dimensiones correctas para control de emisiones de polvo. El aire pulverulento extraído por los ventiladores puede conducirse eficazmente a través de equipos de filtración.

Los hangares, galpones o edificios de almacenamiento pueden alcanzar tamaños de entre 70 y 90 mts. de diámetro con capacidades de hasta 100.000 m3 y pueden contar con diferentes sistemas para depositar y extraer el material.

Tabla 2.1.
Ejemplo modos de operación de bodegas y galpones en cuanto a su flujo operacional".

Ejemplo Mecanismo de ingreso de material	Ejemplo Mecanismo de salida de material
Camión y pala para acomodar los graneles Mangas de descarga Transportador de cadena cenital Apilador longitudinal	Pala a camión Tolvas subterráneas provistas con cintas Cangilones o cadenas con vaciado a cintas.

Aplicación

Los galpones por su estructura más cerrada, son aptos para todo tipo de graneles sólidos en especial aquellos que no admitan intemperie por motivos de calidad o problemas ambientales. Adecuados para sustancias de pulverulencia media o baja según criterios de Buenas Prácticas explicadas con más detalles en el capítulo 5 de la presente Guía. Ej. Escoria y Carbón o el almacenamiento de graneles embalados. En la producción de aglomerantes hidráulicos se utilizan almacenes automatizados y almacenes dotados de puentes grúa para almacenar escoria y combustibles sólidos.

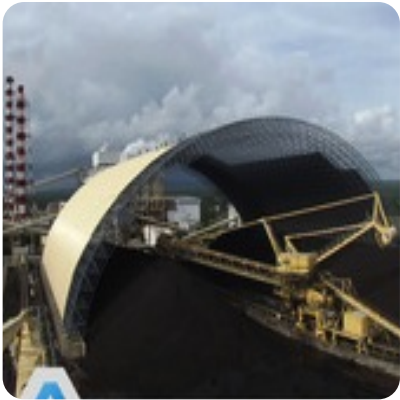
Ventajas

- Útiles incluso en procesos de homogeneización y almacenamiento de productos sensibles a la humedad o pulverulentos.
- Pueden equiparse de máquinas automáticas que permiten formar y deshacer pilas.
- Los almacenes galpones más automatizados, suelen utilizar cintas transportadoras de goma para formar y deshacerlas pilas.
- Evita problemas de lixiviados de los graneles como resultado de la acción de la lluvia o riego como mecanismo de control de emisión.

Desventajas

- A causa de su estructura semi-cerrada o cerrada, el ruido queda confinado en el interior del almacén.
- Gestión de procesos de auto combustión.
- Control posible de atmósferas explosivas

Figura 2.3.
Sistemas de Almacenamiento cerrado-semi cerrado



Almacenamiento tipo Hangar para el almacenamiento de carbón, China.



Bodega tipo horizontal de Concentrado, Puerto Ventanas.



Sistema de Acopio y despacho de concentrados desembarcados - Puerto de Antofagasta, II Región.

Domos

Aplicación

Se han desarrollado para aquellos materiales aquellos que no admitan intemperie por motivos de calidad o problemas ambientales como clinker o carbón. Se han desarrollado técnicas especiales para la construcción de Domos; en la mayoría de casos se utiliza un molde con una estructura redonda hinchable en los que en algunos casos, se pulveriza hormigón. De este modo pueden construirse en un plazo de tiempo breve y cuentan con una capacidad razonable que van desde 1 t/m2 a 8 t/m2.

La mercancía llega por la parte superior mediante un sistema de acarreo continuo, siendo distribuida frecuentemente mediante un apilador radial, que puede estar apoyado por una pala o bull-dozer destinado a distribuir y compactar la mercancía. La descarga del domo se realiza mediante recogedores radiales o mediante tolvas subterráneas que vierten a cintas u otros sistemas continuos. En este último caso, la tolva suele contar con sistemas que faciliten el flujo de mercancía, como son sistemas vibradores, siendo frecuente que la carga de la tolva esté apoyada por un bull-dozer especialmente adaptado para trabajar en atmósferas pulverulentas y con riesgo ATEX.

Ventajas

- La ventaja de esta técnica radica en la ausencia de pilares y en la capacidad de climatización.
- Mayor capacidad de almacenamiento por superficie construida.
- Eliminación de fundaciones profundas.
- Cortos plazos de construcción
- Distintas tecnologías: Hormigón y domos inflables.
- Dependiendo del material, resisten ambientes ácidos
- Menores costos constructivos que naves rectangulares
- Gran control de mermas

Desventajas

- Almacén de mono producto.
- Gestión de procesos de auto combustión.
- En algunos casos y dependiendo del material puede significar un elevado costo de instalación inicial.
- Puede significar un aumento en el consumo energético.
- En gráneles con auto combustión, es conveniente mantener los gráneles compactados evitando la porosidad en los acopios, evitar posibles entradas de agua que puedan actuar como agente erosivo aportando oxígeno al producto, debiendo tener un estricto control de temperatura.

Figura 2.4
Sistemas de Almacenamiento domos



Domo Proyecto FENOSA
almacenamiento Carbón año
2003, La Coruña, España.



Minera Argenita Gold
(MAGSA), San Juan, Argentina



Domo 122 m cubre mineral
de cobre y Molibdeno Sierra
Gorda Sociedad Contractual
Minera

Aero Domos

Corresponden a estructuras soportadas por presión de aire, técnicamente conocidas como estructuras presostáticas, las cuales pueden ser portátiles o fijas. Estas estructuras se soportan por el diferencial de presión de aire existente al interior de las membranas de telas usando ventiladores que mantienen una presión constante. Los diseños modulares son fácilmente transportables, flexibles y pueden adaptarse a una gran variedad de usos en distintos sectores industriales, como la minería, manufactura, forestal y pesquero, además de centros de distribución logística, bodegaje a granel, eventos temporales, centros deportivos multipropósito o para cubrir construcciones en zonas climáticas extremas.

Las principales ventajas de estas estructuras son su menor costo comparativo por superficie cubierta, rapidez de construcción y armado, diseños flexibles y materiales. Con diversos usos dentro del sector, los domos soportados por aire resultarían más simples de instalar y pueden entregar soluciones de espacios cubiertos en condiciones extremas. Estas estructuras pueden utilizarse para diversas actividades mineras, como por ejemplo la encapsulación de procesos contaminantes que generen contaminación y polución, ya que gracias a sus sistemas de filtro de aire conservan los contaminantes al interior del domo, así como también pueden usarse para cumplir requerimientos de bodegaje, de carácter temporal o permanente. El inflado del domo se realiza en condiciones sin viento, tomando entre 20 a 50 minutos, dependiendo el tamaño de la estructura. Un detalle importante a destacar es que para instalar luces directas, el domo debe estar desinflado.

Silos y Tolvas (Alimentación Vertical)

Aplicación

Estructuras para el almacenamiento de volúmenes medios de gráneles con gran capacidad de almacenamiento en poca superficie.

Los silos son depósitos principalmente cilíndricos algunos de ellos con una base o zona de descarga cónica. Normalmente son cargados en su parte superior mediante sistemas compactos de acarreo continuo, descargándose el material por gravedad a sistemas de acarreo continuo.

El diseño del silo está determinado principalmente por las propiedades físicas del material a granel que va a almacenar (densidad de carga, factor de descarga, cohesividad (límite de fluencia no confinado) del material a granel etc.)

Las tolvas, más pequeñas (almacenamiento tamaño intermedio), a menudo son rectangulares, con una zona de descarga en forma piramidal. El tiempo de permanencia de los productos sólidos a granel en estos contenedores puede ser muy breve, a veces de tan sólo un par de minutos, por ejemplo en las tolvas de dosificación. También en los silos puede ser breve, de unos pocos días o semanas.

Aplicación

- Uso generalizado para gráneles de distinto tipo.
- Los silos se usan principalmente para gráneles secos como granos. Para materiales de pulvurulencia media a baja.
- Las tolvas son de tamaño más pequeño apta para materiales con corta residencia o para dosificación.

Ventajas

- El uso de silos es apropiado para casos en que se dispone de capacidad de almacenamiento limitada o cuando las exigencias de reducción de las emisiones sean relativamente estrictas.
- En comparación con el almacenamiento en pilas, los niveles de emisiones son muy bajos, en especial si se dispone de filtros de polvo.
- Alto nivel de automatización.
- Buen aprovechamiento de la superficie.
- Gran control de mermas.

Desventajas

- Se requiere el control de atmósferas ATEX⁽⁶⁾ en algunos productos
- Pueden generarse emisiones de polvo a través de los sistemas de venteo
- En ocasiones puede requerir de un sistema de filtrado de partículas con aspiración forzada, generando costes adicionales.

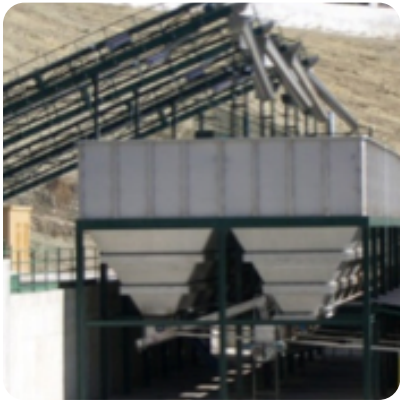
Figura 2.5
Sistemas de Almacenamiento
Silos y Tolvas



Tolva para minerales



Silo para Granos



Tolva Minería

2.2.2. Almacenamiento de graneles al aire libre

El principio de estas instalaciones, está destinada al almacenamiento de volúmenes de gráneles que tras sus propiedades físicas (dispersabilidad), aspectos legales, meteorológicas, ambientales y del entorno, admitan el almacenamiento a la intemperie como pueden ser algunos minerales.

(6) Atmósferas Explosivas, toda mezcla, en condiciones atmosféricas, de aire y sustancias inflamables en forma de gas, vapor o polvo en la que, tras la ignición, se propaga la mezcla no quemada.

En términos generales, este tipo de instalaciones son fuentes de emisiones difusas ya sea por la erosión eólica y/o por su manipulación, por lo que esta medida es adecuada para almacenamiento de materiales que no se verán afectados por las condiciones meteorológicas. En ocasiones, existe además un riesgo de contaminación por lixiviados en suelos que no están debidamente impermeabilizados, riesgo por contaminación de las aguas lluvias o aguas de arrastre de los sistemas de riego sobre las pilas.

Una pila de material a granel generalmente se emplaza en la proximidad del área donde se utilizará dicho material y frecuentemente, están sometidas a procesos de clasificación o tienen incorporados sistemas de transferencia como cintas transportadoras o están sujetas a constante manipulación cambiando su forma toda vez que son removidas.

Muchos riesgos pueden ser minimizados con un sistema de almacenamiento bien diseñado. Sin embargo se debe tener presente, que nunca se llegarán a eliminar totalmente las emisiones.

Productos	Gráneles que permiten el almacenamiento al aire libre
Ventajas	Permite manejo de altos volúmenes Menor costo inversión que sistemas cerrados
Desventajas	Pérdida de material por erosión eólica y lluvias Pueden generar contaminación cruzada a otros productos Aumento de costos en el uso hídrico o de encostrantes
Aspectos críticos	Consideración de diseño en sistemas de drenaje y recogida de aguas lluvias Consideraciones meteorológicas Contenidos de algún elemento con características tóxicas Proximidades a centros urbanos, áreas de interés o cursos de agua
Aplicación	Materiales que no se deterioran al aire libre Movimiento de materiales de bajo precio unitario

Tabla 2.2.
Aspectos generales a considerar en el almacenamiento al aire libre.

2.2.2.1. Criterios y Formas de Almacenamiento de Graneles Sólidos al Aire Libre

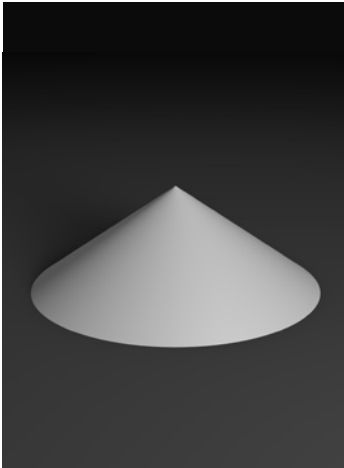
El almacenamiento al aire libre se puede usar como solución a largo plazo o a corto plazo y, el tipo de pila son principalmente: Cónicas, tipo Kidney o de riñón y longitudinales. Los demás tipos son variaciones de las tres anteriores.

Un correcto diseño y manejo operacional de esta y la implementación de todas las técnicas necesarias, puede resultar bastante eficiente en términos de la baja generación y emisión de polvo.

Cabe señalar que por la naturaleza de la operación, las pilas no siempre tienen formas convenientes, por ejemplo, aquellas que están localizadas en pendientes cercanas de canteras de explotación. Algunas están continuamente en movimiento por bandas transportadoras, o cambian de forma por removedores. Pueden encontrarse rodeadas de equipos o edificaciones. Muchas incluso operan desde antes de considerar cubrirlas.

Según los requisitos de cada caso (p. ej. si deben almacenarse materiales diferentes en un mismo sitio), el almacenamiento se puede realizar entre uno o varios muros.

Tabla 2.3
Tipos de Pilas según mecanismo de construcción y regeneración

	Pilas Cónicas	Explicación: Pilas de perfil cónico que se construyen o regeneran mediante una cinta transportadora móvil (pilas longitudinales) o rotatoria (Pilas anulares). Las cargas muertas del perímetro deben manejarse con equipos de carga frontal. Usos: Concentrados de cobre, oro, potasa, escoria, granos y otros materiales. Consideraciones Debido a que la altura de caída del material es grande cuando se almacena en una pila cónica, éstas producen enormes cantidades de polvo cuando no se cubren.
--	---------------	---

Pilas Longitudinales	Explicación: Es la manera más común de almacenar grandes volúmenes de materiales a granel acomodándolos en pilas largas y prismáticas. El material es cargado con un apilador lateral, o con una banda móvil desde arriba. Para retirar el material se utiliza un reclamador-puente con rascador perpendicular o lateral, o con cargadores frontales. Usos: Adecuado para el almacenamiento de grandes toneladas de material Adecuado cuando existe potencial de ampliación de almacenamiento Adecuado para el manejo de pilas de largo plazo en conjunto con pilas de corto plazo Cuando la extensión del sitio permite el almacenamiento longitudinal. Consideraciones: Dependiendo de la orientación de la pila, se puede exponer una gran superficie de contacto con el viento generando emisiones.	
Anulares	Explicación: Estas pilas se utilizan en almacenamiento a largo plazo Usos: Son adecuadas si no existe proyección de ampliación. Almacenamiento a largo plazo. Consideraciones: Tienen capacidades más limitadas que las longitudinales	
Entre muro	Explicación: Este sistema reduce la superficie y con ello, las emisiones, en especial, si el muro se construye contra el viento. Usos: Almacenamiento a largo o corto plazo. Consideraciones: Los muros pueden limitar el acceso a las pilas y consideran una inversión adicional. Estas pilas suelen utilizarse cuando se almacenan de pequeñas o medianas cantidades de material.	

Los principales equipos diseñados para la construcción de pilas son volquetes, como camiones y vagones basculadores. En el caso de regeneración de las mismas, dispositivos de carga posterior, como palas de puente-grúa, palas laterales y palas pórticas.

Figura 2.6
Ejemplo de Sistemas de Almacenamiento canchas abiertas



Almacenamiento carbón en mina



Almacenamiento Concentrado Fierro sin diseño explotación CAP



Almacenamiento Pet coke ENAP

Los vehículos basculadores dejan caer el material a granel en la pila desde un costado. En función de los requisitos pertinentes, estos vehículos pueden disponer de una cinta basculante o una cinta transversal. Con el mismo principio básico, se puede llenar una pila directamente desde el vagón situado por encima de la misma.

Las cintas transportadoras de descarga son cintas transportadoras que lanzan el material a granel sobre la pila. En función del tipo de pila, estos sistemas se instalan en grúas o brazos móviles o en vigas de apoyo. Según el tipo de construcción escogido, la cinta de descarga puede ser giratoria o ajustable en altura y, si la situación lo requiere, extensible o transversal.

2.2.3. Enfoques operacionales de carácter general aplicados al almacenamiento de graneles sólidos

Las medidas operacionales y técnicas de carácter general asociadas al almacenamiento de graneles sólidos, se pueden resumir en seis grandes aspectos:

- a) Enfoques orientados al control e inspección de las operaciones.
- b) La disposición y funcionamiento de los lugares de almacenamiento: zonas adaptadas a la limpieza y mantenimiento de equipos, recogida de aguas pluviales, de riego o de limpieza, almacenamiento de residuos de mantenimiento y limpieza, equipos de limpieza de superficies de trabajo.
- c) Enfoques orientados al mantenimiento de los sistemas que componen la actividad y sus áreas suplementarias (técnicas de prevención /reducción).
- d) Enfoques orientados a la extracción de polvo desde interior por medios mecánicos y
- e) Enfoques orientados a la reducción de superficies expuestas al viento.

A continuación, se describe el control e inspección considerando que estas tienen un papel básico en la determinación de las posibles fuentes de emisión. Deben realizarse comprobaciones regulares para garantizar que las emisiones permanecen dentro de los límites permitidos. Además, pueden informar al operador cuando el rendimiento se vuelve inaceptable.

Ejemplo de medidas y Buenas Prácticas

A. FOCALIZADAS EN LA MANTENCIÓN

- 1. Mantenimiento preventivo marcado por el fabricante según los aspectos críticos de mantención.
- 2. Limpieza periódica o inmediata de equipos después de la operación. Los programas de limpieza dependerán si la operación es continua o discontinua.
- 3. En caso de utilizar puertas plegables, herméticas o cortinas, garantizar su funcionamiento y cierre.
- 4. En caso de poseer filtros para limpieza de venteo o de transferencias, comprobar periódicamente estado de filtros (indicador de eficiencia)
- 5. En el caso de almacenamiento en Silos verticales, no utilizar el Punto de carga del Silo como venteo.
- 6. En el caso de almacenamiento en Domos, evitar el efecto chimenea. Es decir, no abrir al mismo tiempo durante el llenado, puertas, y ventiladores superiores.
- 7. Realizar mantenimiento específico de los sistemas de llenado y vaciado de almacenes y galpones tales como cintas, tolvas subterráneas, apiladores, etc.

B. FOCALIZADAS EN OPERACIONES CON PALA Y CAMIÓN

- 1. Realizar la descarga del camión de modo progresivo.
- 2. Reagrupar periódicamente el material dispersado en puertas de acceso y en zona de trabajo.
- 3. Apilar y remontar los acopios empujando el material mediante empujadores de hoja vertical con sistema de prolongación Si se utiliza la pala para remontar o acopiar hacerlo siempre empujando para evitar emisiones.
- 4. Separar la zona de circulación de camiones de la zona de operación de la pala cargadora, mediante barreras móviles, evitando que los camiones transiten por las orillas del acopio y por la zona de operación de la pala.
- 5. Cuando resulte posible, definir un corredor para camiones que conecte la puerta de entrada con la puerta de salida, de modo que la zona de tránsito este separado completamente de la zona de operación de la pala.

Tabla 2.3

Medidas de Carácter General con Enfoques Operacionales en el Almacenamiento Confinado de Graneles Sólidos

C. FOCALIZADAS EN OPERACIONES CON PRODUCTOS AUTOCOMBUSTIBLES

- 1. Prensar con bull-dozer los acopios para compactar el material y así reducir la porosidad limitando la entrada de aire.
- 2. Realizar un seguimiento de la temperatura del acopio mediante cámaras termográficas y sondas termométricas insertables en la mercancía.
- 3. Limitar tiempos de almacenamiento. Ante las dificultades de gestión de procesos de autocombustión en espacios cerrados limitar no superar periodos de tiempo que puedan suponer riesgo.

D. FOCALIZADAS EN OPERACIONES DE DESCARGA SUPERIORES

- 1. No abrir al mismo tiempo, durante el llenado del almacén, puertas y ventilaciones superiores para evitar el efecto chimenea
- 2. Prensar con bull-dozer los acopios para compactar el material y así reducir la porosidad limitando la entrada de aire.
- 3. Realizar un seguimiento de la temperatura del acopio mediante cámaras termográficas y sondas termométricas insertables en la mercancía.
- 4. Limitar tiempos de almacenamiento. Ante las dificultades de gestión de procesos de autocombustión en espacios cerrados limitar no superar periodos de tiempo que puedan suponer riesgo.
- 5. Controlar altura de caída de material

Tabla 2.4

Medidas de Carácter General con Enfoques Operacionales en el Almacenamiento a Cielo Abierto de Graneles Sólidos

Ejemplo de medidas y Buenas Prácticas

A. FOCALIZADAS EN LA INSPECCIÓN

- 1. Para el almacenamiento al aire libre se deben realizar inspecciones visuales periódicas o continuas (sujeto a la condición de la operación normal de la pila) para ver si hay emisiones de polvo y comprobar que las medidas preventivas funcionan correctamente.
- 2. Verificar los sistemas de pulverización o humectación
- 3. Implementar sistema de marcadores o pérticas graduadas (mt) en las canchas de acopio que permita controlar la altura de pilas.

B. FOCALIZADAS EN LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

- 1. Seguir las predicciones meteorológicas mediante, por ejemplo, instrumentos meteorológicos propios puede ayudar a saber cuándo es necesario humedecer las pilas, lo cual permite ahorrar recursos al no tener que humedecerlas innecesariamente.
- 2. No se debe manipular, hacer o deshacer pilas bajo condiciones meteorológicas adversas o en periodos de sequía que impida regar el material.
- 3. Regular el ritmo de operación y rigor con el que manipula la pila en función del grado de pulvurulencia del material, la velocidad y dirección del viento.
- 4. Establecer detenciones en las operaciones en caso de ráfagas de viento prolongadas en intensidad y dirección desfavorable en especial cuando las medidas técnicas no son suficientes.

C. FOCALIZADAS EN LA FORMACIÓN DEL ACOPIO

- 1. El eje longitudinal de la pila debe ser paralelo al viento dominante. Se trata de controlar la acción del viento mediante la ubicación estratégica de las pilas. En general se recomienda colocar el eje longitudinal de la pila en dirección paralela a los vientos dominantes.
- 2. Mantener una distancia mínima de seguridad (3 mt) entre el acopio de caminos, vías férreas y sumideros.
- 3. Delimitar las pilas con muros de contención (móviles o fijos) para evitar la dispersión de los gráneles.(7)
- 4. Disponer las pilas de mayor rotación prevista, cercana a los puntos de salida.
- 5. Limitar la altura de la pila en función del entorno.
- 6. Posibilitar la formación de pilas con cotas planas.
- 7. Cuando se trata del mismo material, privilegiar la construcción de una Pila en vez de varias. Para una misma cantidad, dos pilas tienen un 26%(8) más de superficie libre que una.
- 8. La altura de las pilas deben ser al menos, dos metros más baja que los sistemas corta vientos y sistemas de protección contra viento.

D. FOCALIZADAS EN LA MANIPULACIÓN DE LAS PILAS

- 1. Si el movimiento de mercancía se realiza con Palas de la maquinaria, empujar el granel y no levantar la pala a fin de evitar la dispersión de polvo.
- 2. Recortar la pila periódicamente, reagrupando el material dispersado en el área de trabajo.
- 3. Apilar, empujar y remontar el material utilizando remontador y empujadores de hoja vertical con sistema de prolongación los cuales reducen la probabilidad que la pala ingrese a la pila.
- 4. Carga/descarga a sotavento de camiones con pala o en áreas protegidas entre acopio en condiciones de viento adverso.

OTRAS

- 1. Minimizar el tránsito de vehículos sobre las pilas de almacenamiento y sus alrededores.
- 2. Realizar limpiezas periódicas a las pantallas deflectoras de viento. Estas pueden acumular polvo las cuales al ser sacudidas por el viento, pueden generar niveles de concentración elevados.

(7) Necesario cuando existen instalaciones ajenas aledañas o población cercana. No obstante es limitado para pilas de gran tamaño.
(8) Meyer y Eickelpasch, 1999.

2.2.4. Enfoques técnicos aplicados al almacenamiento de graneles sólidos. medidas de carácter general

En esta sección, se describen aquellas Técnicas a considerar en las operaciones de almacenamiento de gráneles sólidos sean estos a cielo abierto o bajo confinamiento.

Ejemplo de Medidas Técnicas

A. SISTEMAS DE VENTILACIÓN/EXTRACCIÓN ⁽⁹⁾

- 1. Emplear sistemas de ventilación y filtrado con un diseño adecuado.
- 2. En el caso de gráneles del tipo alta pulvurulencia, se deberá mantener un sistema de almacenamiento hermético o sistemas de puertas cerradas que garantice la máxima succión de polvo.
- 3. Los sistemas de ventilación deberán incorporar filtros con un diseño adecuado, los cuales deberán funcionar durante toda la operación y manejo de los gráneles (carga o descarga).
- 4. Si se trata de un hangar, el filtro puede operar solo en los procesos de carga y/o descarga, contribuyendo al ahorro energía.
- 5. Se debe cuidar que el área abierta sea la mínima, para no incrementar innecesariamente el caudal aspirado.

B. DISEÑO DE BODEGAS

- 1. El diseño de silos o bodegas debe considerar aspectos ambientales y estar orientado en minimizar las emisiones de polvo hacia el exterior y minimizar la suspensión de polvo al interior de la bodega.
- 2. El diseño y tipo de bodega, debe ser en función de la naturaleza o tipo de sustancia almacenada y del tipo de operación que se realice al interior.
- 3. Evitar instalar ventanas o respiraderos en la parte superior de la nave de almacenamiento pues se pueden generar efectos chimenea.

Tabla 2.5
Medidas de Carácter General con Enfoques Técnicas en el Almacenamiento de Graneles Sólidos

C. SISTEMAS DE NEBULIZACIÓN/ASPIRACIÓN

- 1. Para sustancias muy Pulvurulentas, se deben bajar los niveles de emisiones de polvo al interior de la bodega mediante la implementación de sistemas de nebulización o aspirado en las siguientes operaciones al interior de las bodegas:
- 2. En operaciones de transferencia en cintas.
- 3. En operaciones con Pala y Camión.
- 4. A la salida o entrada de tolvas.

D. SISTEMA DE CONTROL ALTURA DE CAÍDA DE MATERIAL O EMISIÓN POR IMPACTO DE MATERIAL

- 1. Implementar brazos reguladores de distancia de caída o usar tolvas telescópicas u otros sistemas que cumplan el mismo objetivo.
- 2. Uso de sistemas de apantallamiento en equipos donde se realiza la transferencia/descarga de material.

E. SISTEMAS PARA AUTO COMBUSTIÓN SEGÚN CORRESPONDA

- 1. Instalar cámaras termoeléctricas que permitan determinar posibles focos de auto combustión.
- 2. Utilizar sondar termoeléctricas insertables para verificar la temperatura en capas profundas.
- 3. Disponer de sensores de Monóxido de Carbono y Metano.

(9) Los filtros de polvo de silos y tolvas suelen lograr unos niveles de emisión de partículas de 1 a 10 g/m3, dependiendo de la naturaleza o el tipo de sustancia almacenada.

Ejemplo de Medidas Técnicas

A. INSTALACIÓN DE MUROS DE CONTENCIÓN PARA REDUCIR LA SUPERFICIE LIBRE

- 1. Con esta técnica se reducen las emisiones difusas de polvo. Esta reducción es óptima cuando el muro se instala a barlovento y en caso que el acopio colinde con instalaciones ajenas.

B. SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA VIENTO

- 1. Instalar sistemas o barreras de protección contra vientos. La eficiencia estimada es del orden del 20 al 40%(10) dependiendo del uso de encostrantes y la operación con cargadores frontales o correas transportadoras.

C. HUMECTACIÓN EFICIENTE DE PILAS

- 1. Instalar sistemas de aspersión para humectar la superficie de la pilas. A fin de aumentar la eficiencia y el ahorro de agua, humedecer la superficie utilizando aglomerantes duraderos, aditivos espumantes o humidificantes(11). Los sistemas de aspersión no resulta útiles en caso de heladas o condiciones meteorológicas adversa.
- 2. Los sistemas de Nebulización son mucho más eficiente que los sistemas de humectación y aspersión permitiendo optimizar el recurso hídrico.
- 3. Requisito que el tamaño de partícula del agua debe ser adecuado (> que el tamaño partícula de polvo).

D. USO DE ENCOSTRANTES, AGLOMERANTES O SIMILARES

- 1. El uso de encostrantes o aglomerantes permite menor consumo de agua y se utiliza en rocas, minerales, hulla, lignito, bauxita, escorias y escombros, formación de pilas, carga y descarga de vagones y camiones y carga de buques. En ocasiones se integra en cargadores frontales, dispositivos de carga móviles o transportadores de paletas. Con todo, la formación de costra sólo es aplicable a las pilas(12)

Tabla 2.6
Enfoques primarios técnicos en el almacenamiento de graneles en canchas abiertas: Aspectos generales.

E. USO DE BARRAS MARCADORAS

- 1. Se deben ubicar pérticas o barras marcadoras verticales que indiquen la altura referencial de la Pila que permitan una visualización operacional y control de altura

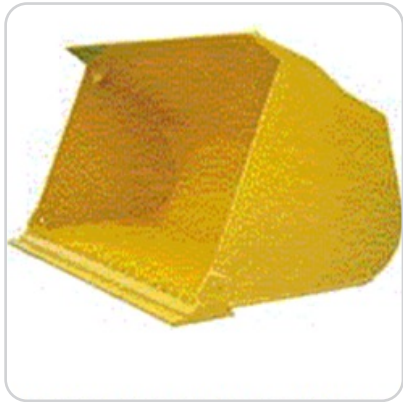
F. INSTALACIÓN DE RED DE DRENAJE

- 1. Evitar conducciones enterradas. Estas deben ser de fácil limpieza y mantención.
- 2. Distribución perimetral o en forma de espina de pescado de la red de drenaje en la zona interior del acopio.
- 3. Área de caída de agua recogida debe ser recibida por el sistema de conducción de aguas lluvias.
- 4. Instalación sistema recuperación de aguas con sistema de decantación y recuperación de material cuando sea posible.

G. OTRAS

- 1. Aplicar medidas técnicas para palas.
- 2. Aplicar medidas técnicas para camiones, cintas transportadoras, chutes.

Figura 2.7
Equipos utilizados en la formación de Pilas o Parvas



Cucharones para carbón con distintos anchos



Formación de acopios con apiladores longitudinales, Huasco



Levante de material mediante recogedor lineal de cadenas

(10) EPA, "Windbreack effectiveness for storage-pile fugitive-dust control a wind tunel study"; Barbara J Billman.
(11) En tiempos de escasez hídrica configura una medida poco adecuada. Además, el riego permite el arrastre de producto por escurrimiento del humectante.
(12) Se deben considerar los vertidos lo cual puede generar efectos ambientales no deseados en el proceso

2.3. Manipulación de graneles sólidos

En instalaciones relacionadas con gráneles sólidos, los principales impactos ambientales están asociados al almacenamiento en canchas abiertas (erosión eólica). Sin embargo, una parte importante tiene lugar en las fases de manipulación de material, de modo que el tipo de equipos utilizados y el modo en que son operados determinan en gran medida el desempeño ambiental de las operaciones.

Para la elección de los equipos de operación de graneles en una instalación que evidentemente está ligada a la planificación de la actividad, resulta relevante tener en cuenta al menos los siguientes aspectos:

- a) Propiedades de la mercancía como son: pulverulencia, densidad, fluidez, adherencia, ángulo de reposo, reactividad química, tendencia a la combustión, y posible toxicidad para el entorno.
- b) Dependencia del nivel de destreza del operador.
- c) Antagonismo entre rendimientos y eficiencia ambiental en esquemas de operación convencionales con bajo nivel de inversión.
- d) Dependencia de las condiciones ambientales
- e) Adecuación a los volúmenes y rendimientos esperados
- f) Altura de puntos transferencia y número de los mismos.
- g) Pendientes en sistemas que utilicen cintas.
- h) Exposición al viento en puntos de transferencia y manipulación.
- i) Velocidades de caída en descensos por gravedad.
- j) Nivel de mezcla entre aire y mercancía, en puntos de descenso.
- k) Monitorización y control de atascos, derrames o sobre cargas.

La presente guía, identifica una combinación de métodos de control para las actividades más significativas en la manipulación de gráneles sólidos. Estas medidas se focalizan principalmente en métodos operacionales y técnicas cuya elección, depende del análisis de distintas variables en su conjunto como: El potencial de reducción de polvo, el consumo energético, efectos sinérgicos y aspectos económicos, entre otros.

2.3.1. Identificación de equipos utilizados en operaciones de manipulación y transferencia de graneles sólidos

2.3.1.1. Equipos y Sistemas de Carga y Descarga de Material

Carga con cinta transportadora Móvil:

Equipo utilizado en terminales portuarios multipropósito. Este consiste en una cinta transportadora móvil y una tolva de alimentación y se carga directamente con una pala cargadora o descarga directamente a camiones por sistemas de mangas o toboganes. Están diseñados para todo tipo de materiales, especialmente minerales, agroalimentarios y químicos. Dentro de otras características técnicas se destacan:

- Rendimientos entre 100 a 500 t/h ⁽¹³⁾
- Movilidad reducida y alcance limitado en llenado homogéneo de bodega.
- Carga eficiente para buques pequeños.
- Los principales aspectos ambientales están asociados a erosión eólica, derrames de material.
- La elección y diseño del sistema de descenso deben tenerse en cuenta las necesidades de control. Para mercancías poco fluyentes resultará necesario recurrir a tubos de descarga dotados de toboganes giratorios de pendiente variable, capaces de distribuir la mercancía en la bodega.

Aspectos ambientales:

En una cinta convencional, el punto de alimentación desde camión, la propia cinta y el penacho de descarga, están sometidos a la acción del viento, por lo que todo el sistema se convierte en un foco de emisión bajo la acción del mismo. Por tanto, resulta esencial apantallar tanto la tolva de alimentación como el recorrido de la cinta.

Por otro lado, el impacto de los graneles en la bodega, supone otra fuente de emisión que sólo es posible controlar mediante sistemas que reduzcan la velocidad de descenso de la mercancía, como tolvas telescópicas o toboganes de poca pendiente.



Figura 2.8
Sistemas de descarga Móvil



Figura 2.9
Sistemas de descarga mediante cuchara a tolva, Puerto Cortés Honduras

Carga/Descarga con Grúa Pórtico

- Equipo de descarga discontinuo de muy alto rendimiento (1000 y 2000 t/h), especialmente para la descarga de minerales y carbón.
- El sistema consta de una cuchara que se mueve transversalmente al muelle a lo largo del pórtico y vierte sobre una tolva incorporada en la propia grúa, la cual a su vez, descarga sobre una cinta transportadora. La tolva de la grúa, se encarga de acoplar el flujo discontinuo de la cuchara con el flujo continuo de la correa transportadora.
- Permite la integración de transporte continuo
- Alto control de mermas
- Alta inversión inicial y ocupación de espacio (o de muelle en caso portuario)
- Los principales problemas ambientales están asociados a derrames a la dársena o muelle y emisiones de polvo por descarga a la tolva y en la transferencia de la tolva a la cinta.

Descargador/Descargador Neumático

Sistema neumático que se basa en generar una descompresión en uno de los extremos de la tubería provocando, de este modo, el desplazamiento de materia de un punto a otro. Se conecta directamente el buque con los sistemas de almacenamiento cerrado.

(13) Ref. Puertos España 2015.

Mediante impulsión neumática pueden cargarse también las cisternas de los camiones de forma estanca. Sistema compatible con todo tipo de materiales, aunque debido a su coste se usa para materiales de alto valor añadido. Rendimientos hasta 1.000 t/h para buques grandes y de 500 t/h para buques menores. Especiales para materiales pulverulentos como cemento, carbón pulverizado, harinas no apelmazantes, granos de cereal.

Ventajas:

- Elevado rendimiento.
- Capacidad para vaciar la totalidad de la bodega sin necesidad de medios mecánicos adicionales.
- No se necesitan tolvas u otros sistemas para regular el flujo de mercancía.
- Alto control de posibles mermas.

Desventajas:

- Elevada Inversión inicial
- Elevado coste de operación por consumo de electricidad
- Necesidades de mantenimiento en mercancía abrasivas
- Limitaciones cuando hay marejadas

Descargador Continuo Mecánico

Utilizados en instalaciones portuarias, estos equipos generan un flujo continuo de mercancía, a través de conductos cerrados, mediante el movimiento de dispositivos mecánicos. De modo general, los dispositivos empleados para mover la mercancía pueden ser cadenas, tornillos sin fin y cangilones. El uso de un sistema u otro estará condicionado por las características de la mercancía y del rendimiento buscado. Los sistemas pueden ser fijos u operar sobre rieles y el transporte horizontal hacia el sitio de almacenamiento, puede ser por medios convencionales como correas transportadoras. Dependiendo de los dispositivos interiores, el material pueden ser granos secos, materiales finos granulares y gráneles en general.

Aspectos Generales:

- Elevado rendimiento dependiendo del dispositivo interno de movimiento puede ser desde 500 t/h hasta 5.000 t/h.
- Bajo costo de operación en relación a sistemas neumáticos
- Alto control de mermas
- Buen desempeño ambiental
- La limpieza de bodega es más compleja que con el sistema neumático



Figura 2.10
Ejemplo de descargador Neumático



Figura 2.11
Ejemplo de descargador Mecánico



Figura 2.12
Operación de Descarga con cuchara

Ventajas:

- Descarga continua compatible con transporte continuo, permite automatización de la terminal.
- Elevado rendimiento.
- Bajo coste durante la operativa en relación a sistemas neumáticos.
- No se necesitan tolvas u otros sistemas para regular el flujo de mercancía.
- Alto control de la calidad de la mercancía, limitando la contaminación cruzada o la exposición a la intemperie.
- Alto control de posibles mermas.

Desventajas:

- Elevada Inversión inicial.
- Alta necesidad de mantenimiento en operación con mercancía abrasivas.
- Limpieza de bodega más difícil que con sistema neumático, pudiendo requerir de medios mecánicos adicionales.

Carga/Descarga con Grúa Cuchara

Las grúas móviles se complementan con cucharas mecánicas, bivalvas o de tijera, accionadas por cables cuya forma, capacidad y material de construcción se adaptan a diferentes tipos de mercancías. De modo general, para materiales densos y cohesivos se utilizan cucharas de tijera con gran poder de penetración, mientras que, en materiales poco cohesivos y poco densos, se utilizarán cucharas bivalvas de mayor volumen con menor desmultiplicación de la fuerza de cierre.

El diseño de la cuchara, adecuando su forma y volumen a la densidad y cohesión del material resulta esencial a la hora de optimizar tiempos de operativa, y lograr un buen balance entre eficiencia ambiental y rendimiento operativo. Por ejemplo, las cucharas de almeja son dispositivos técnicos con dos o más cuencos controlados que penetran abiertos en el material a granel, lo recogen cerrando los cuencos y lo descargan abriéndolos. En general, la capacidad de las cucharas (que depende de su tipo, peso y tamaño) está limitada a 2000 - 2500 t/h.

- Equipos de alta flexibilidad dado que no requieren puntos fijos (ejemplo muelles)
- Las grúas se complementan con cuchara mecánicas bivalvas o de tijera dependiendo del tipo de material (densos o cohesivos)
- Los esquemas de transporte horizontal pueden ser
- Inmediata, para su posterior recogida y traslado por camión
- Descarga a tolva y camión
- Descarga a tolva y cinta
- Equipos versátiles para multiproductos
- Alta capacidad y eficiencia
- Escaso control de mermas
- Rendimientos condicionados a la destreza del operador
- Rendimientos entre 700 y 1.000 t/h en descarga inmediata y entre 400 a 800 t/h en descarga directa a tolva.

Ventajas

- Versatilidad multiproducto.
- Alta capacidad y eficiencia.
- Movilidad, especialmente cuando no se dispone de punto estable de atraque.
- No ocupa espacio en muelle.
- Opera independientemente.
- Adaptación a cualquier nivel de marea.

Desventajas

- Operativas que implican riesgo de contaminación cruzada.
- Riesgo de daños a buques por golpes.
- Rendimientos muy condicionados al tipo de operativa y destreza del operador.
- Escaso control de mermas

Tolva para Descarga

Las tolvas actúan como sistemas de almacenamiento temporal que permiten acoplar distintos flujos de mercancías. Dicho proceso puede realizarse mediante transferencia de la tolva con sistemas de acarreo continuo, como cintas, o mediante transferencias a sistemas de acarreo discontinuo, como camiones o vagones. Esto hace que se pueda evitar el acopio temporal en muelles o plantas de procesos.

La eficiencia de la tolva depende del diseño: pendiente de las paredes, boca de la tolva, grado de pulvulencia del material.

Características Generales:

- Rendimiento ligado a la destreza del operador grúa-tolva-camión
- Rendimiento entre 500 y 1.000 t/h en descarga a cinta y entre 100 y 400 t/h en descarga a camión.
- El diseño debe ser específico para tipo de productos y tamaños de cuchara. La boca de la tolva deberá tener un tamaño adecuado para lograr un correcto acoplamiento entre la tolva y la cuchara, con el fin de evitar derrames, teniendo en cuenta que, en general, el tipo y tamaño de la cuchara estará determinado por la densidad y cohesión del granel sólido a manejar.
- Se debe considerar la pendiente de las paredes de la tolva que está condicionado por la fluidez del material y el grado de cohesión.
- Hoy en día existen sistemas que pueden incorporar a la tolva, diseñados para materiales pulvulentos. Ejemplo: pantallas, nebulización o filtrado. En este último caso, la necesidad de incorporar aspiración forzada y filtrado, implicará el diseño de una tolva específica.

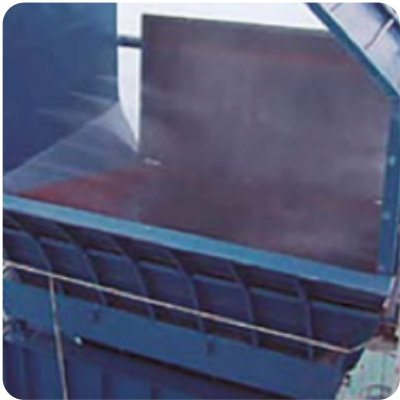
Ventajas:

- Evita contacto del producto con el suelo.
- Reduce ocupación. Permite descarga directa a cinta o a camión y evita acopios temporales en las instalaciones.
- Versatilidad, sistema adecuado para productos de densidad y fluidez similar.
- Movilidad, especialmente cuando no se dispone de punto de atraque estable.
- Opera independientemente del nivel de marea.
- Buen control de mermas.

Desventajas

- Diseño específico para diferentes tipos de productos y tamaño de cuchara
- Rendimiento muy ligado a la destreza de los operadores de grúa, tolva y camión.
- Exposición a la intemperie y problemas de contaminación cruzada con otras mercancías.

Figura 2.13
Operación con Tolvas



Boca de tolva apantallada con atomizadores de agua de alta presión



Boca de tolva apantallada con atomizadores de agua de alta presión



Puerto Las Losas, Atacama

Operación con Palas

El transporte discontinuo (palas, camiones) produce, por regla general, más emisiones de polvo que el transporte continuo realizado, por ejemplo, a través de cintas transportadoras.

Cuando se utilizan palas mecánicas, las Buenas prácticas están principalmente asociadas a la reducción de la altura de caída y elegir la mejor posición durante la maniobra de descarga en el camión.

Es posible acoplar cazos de alto volteo a palas convencionales. Estos cazos cuentan con cilindros propios que se accionan independientemente del resto de cilindros de brazo de la pala, a través de un circuito hidráulico auxiliar.

- La capacidad total del cazo debe adaptarse a la densidad de la mercancía.
- Cazos pequeños en mercancías poco densas llevan a sobrecargar y colmar el cazo, facilitando derrames.
- Cazos grandes en mercancías densas requieren tantear el nivel de carga antes de iniciar el movimiento, restando eficiencia a la operativa.

Transporte por correas:

El transporte de graneles a través de cintas o correas trasportadoras se utilizan principalmente para el trasporte horizontal dentro de una instalación o pueden formar parte de sistemas de trasporte terrestre que conectan una instalación (ej. Puerto) con instalaciones exteriores. Las cintas no solo permiten el transporte sino además la elevación del material.

La cinta es alimentada por una tolva o tobogán, en el que el material es encausado por un mecanismo cuyos faldones se ajustan a la cinta impidiendo la salida de la mercancía. Se pueden implementar unos raspadores para impedir la adherencia del material en la correa. El ancho y grado de cierre de la cinta dependen de la densidad del material y el ángulo de reposo del mismo

Figura 2.14
Cinta transportadora Puerto Ventanas, sistema cerrado



Correa transporte de granos



Transporte de Clinker

Ventajas

- Transporte de todo tipo de graneles.
- Mínimo deterioro del producto por fragmentación.
- Baja incidencia de la abrasividad del producto sobre el sistema.
- Gran rendimiento (14).
 - Para carbón, de 500 t/h, en terminales no especializadas a 2300 a 2800 t/h, en especializadas.
 - Para mineral, 250 t/h en no especializadas y 1200 t/h en especializadas.
 - Para agroalimentario de 300 a 700 t/h, en no especializadas y de 600 a 900 t/h, en especializadas.
 - Para el resto de 100 a 300 t/h, en no especializadas y de 400 a 800 t/h, en especializadas.
- Capacidad de transportar grandes distancias.
- Gran adaptabilidad a todo tipo de instalaciones.
- Permiten compatibilizar alto rendimiento y buena eficiencia ambiental.

Desventajas

- Problemas de producción de polvo y derrames, salvo carenado.
- Alta ocupación de espacio de muelle.
- Roturas de cinta requieren material y equipos especializados

2.3.2. Enfoques operacionales aplicados a la manipulación y transferencia de graneles sólidos

En consideración, todas aquellas instalaciones que manipulen sólidos muy o medianamente dispersables y poco humectables, deberán considerar medidas asociadas principalmente a las Buenas Prácticas Operacionales. Una de las principales medidas asociadas a la operación de toda actividad de almacenamiento, manipulación, está asociada a la inspección visual de dichas actividades.

La tabla siguiente resume aspectos relacionados con Buenas Prácticas de Enfoque Operacional en la manipulación de graneles:

(14) Guías BREF, Almacenamiento de Graneles. Resumen Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles respecto a las emisiones generadas por el almacenamiento, Julio de 2006

Tabla 2.6
Enfoques primarios operacionales aplicados a la manipulación y transferencia de graneles en canchas abiertas: Aspectos generales.

(Continuación)

Actividad/ Operación	Medidas o BP Operacionales
Carga y descarga de material	A. OPERACIONES CON CUCHARAS 1. Minimizar la altura y velocidad descenso y de caída libre de material por ejemplo: en la utilización de palas mecánicas o cucharas. 2. Cerrar totalmente la cuchara tras haber recogido el material en las operaciones de buques. 3. Dejar la cuchara en las tolvas el tiempo suficiente después de la descarga. 4. Detener el funcionamiento de la cuchara para condiciones meteorológicas adversas (intensidad y velocidad de viento) en especial, cuando las medidas técnicas imp’lementadas en la operación son insuficientes. 5. Regular el ritmo de las operaciones y severidad con que se manipulan los graneles en función de la pulvurulencia de los mismos y las condiciones meteorológicas. 6. Para graneles adherentes, golpear la cuchara sobre la tolva antes del retorno para evitar derrames 7. Evitar sobrecargas de la cuchara
	B. OPERACIONES DE CARGA/DESCARGA SOBRE TOLVAS O DESDE TOLVAS 1. Mantener la tolva entre un 70% y un 80% de su capacidad a fin de evitar re-suspensión de material 2. Abrir progresivamente la cuchara con el granel pulvurulento o en condiciones adversas de viento a modo de barrera que permita amortiguar el remolino de polvo causado por el impacto. 3. Minimizar la altura de caída sobre la tolva 4. Aspirar permanentemente los puntos de descarga de las tolvas telescópicas. 5. Recoger el material derramado en torno a la tolva de manera periódica 6. Controlar la descarga de la tolva para no colmatar los contenedores de camiones y evitar su sobre peso
	D. OPERACIÓN CON PALAS DESDE ACOPIOS 1. Adecuar o utilizar el volumen cazo de la pala según la densidad y cohesión del material. 2. Instalar pantallas porosas en la zona de operación 3. Utilizar cazos de alto-volteo. El uso de cazos de alto-volteo permite mejorar el rendimiento y reducir los derrames al desacoplar el movimiento de vertido de cazo del movimiento de avance de la pala (El sistema de alto volteo se basa en hacer rotar el cazo en alto, sin necesidad de que el proceso de vertido tenga que ser acompañado por el avance de la pala o por el avance del brazo de la misma) 4. Avanzar con la pala lo más baja posible desde el punto de recogida hasta el punto de carga. 5. Ataca la pila desde sotavento, utilizando la propia parva como pantalla. 6. El avance con pala debe evitar aceleraciones bruscas o cambios rápidos de dirección.

Actividad/ Operación	Medidas o BP Operacionales
Carga y descarga de material	7. Realizar un volteo progresivo del cazo 8. Definir la velocidad de desplazamiento óptima de la pala (en materia de emisiones) 9. Regular operación (ritmo y detención de operaciones) por condiciones meteorológicas adversas. 
	D. EN OPERACIONES CON PALA Y CAMIÓN 1. Utilizar cazos de alto-volteo. El uso de cazos de alto-volteo permite mejorar el rendimiento y reducir los derrames al desacoplar el movimiento de vertido de cazo del movimiento de avance de la pala. 2. Utilizar barreras móviles, tipo “New Jersey,” para separar el tránsito de camiones de la zona de operación de la pala, reduce la dispersión de mercancía por rodadura. 3. En operaciones de remonte del acopio utilizar palas con prolongadores de hoja vertical para alcanzar mayores alturas de remonte y evitar la entrada de la pala en el acopio. 4. Limitar altura de caída de producto sobre la caja del camión 5. Evitar golpear la caja del camión 6. El avance con pala debe evitar aceleraciones bruscas o cambios rápidos de dirección.
	E. OPERACIONES GENERALES 1. Establecer sistemas de paradas operativas y ritmos de operación: Realizar las actividades de carga y descarga al aire libre, cuando la velocidad del viento sea adecuada de acuerdo a sus evaluaciones meteorológicas por lo que deberá incorporarse las variables meteorológicas a la actividad. 2. Las operaciones de carga y descarga en bodegas cerradas, deben realizarse con las puertas cerradas (puertas herméticas) procesos de carga y descarga de camiones, trenes. 3. Para la regulación de la altura de caída libre del material, la descarga debe llegar hasta el fondo del espacio de descarga o al ras de la pila. Una tecnologíadisponible por ejemplo: “Conductos de llenado con altura regulable, tubos en cascada con altura regulable”. 4. Para gráneles pulvurulentos, utilizar sistemas de nebulización o aspiración aplicada a los puntos de transferencia incluyendo en la bodega. 5. Para carga de material en camiones, utilizar cazos de alto volteo.

(Continuación)

Actividad/ Operación	Medidas o BP Operacionales
Traslado de material	A. TRANSFERENCIA MEDIANTE CINTA/CORREAS TRANSPORTADORA 1. Ajustar velocidad de cintas transportadoras a fin que la carga, no exceda la capacidad de la cinta. 2. Respetar y supervisar el caudal de carga 3. Seguimiento de derrames y atascos 4. En caso de utilizar filtros de aire, realizar inspecciones a filtros de aire por posibles caídas de presión 5. En caso de utilizar nebulizadores, realizar inspecciones por posibles caídas de presión y/o caudal 6. En lo que respecta a la mantención: a. Mantención preventiva a giro de rodillos, ajuste y estado de faldones y encausadores, estado de rascadores, estado de filtros y nebulizadores, estado de sellos y cápsulas envolventes de correas, centrado de la correa. b. Limpieza. Realizar limpiezas permanentes de cintas e inspeccionar las partes bajas de la misma verificando posibles derrames de material en los pasos por rodillos.
	B. TRANSPORTADORES NEUMÁTICOS 1. Monitorear caudales y caídas de presión a fin de evitar atascos 2. En el caso de utilizar filtros de mangas, supervisar posibles caídas de presión en filtros a fin verificar roturas, colmataciones de los mismos. 3. Vigilar las características de sólido que permitan estar en condiciones “fluidizables” a fin de evitar atascos. 

- a. Considerar el tiempo de permanencia de la carga al interior de la caja o tolva del camión. Los sistemas de cobertura de material, no es recomendable para transportes a pequeñas distancias.

2.3.3. Enfoques técnicos en la manipulación de graneles sólidos

En lo que respecta a la manipulación de graneles sólidos, el uso de las mejores tecnologías disponibles depende especialmente del tipo de material a manejar en la instalación. La tabla siguiente, resume medidas técnicas que en algunos casos, pueden resultar como medidas complementarias a otras técnicas ya implementadas.

Tabla 4.10
Enfoques primarios técnicos aplicados a la manipulación y transferencia de de graneles en canchas abiertas: Aspectos generales.

Actividad/ Operación	Medidas o Técnicas
Transferencia interna de material: traspaso desde/ hacia cintas transportadoras	A. UTILIZACIÓN DE CINTAS TRANSPORTADORAS SELLADAS O ENCAPSULADAS Especialmente para materiales con clasificación para materiales del tipo de pulvuriulencia alta y/o media 1. Cuando existen distintos puntos de transporte (trayecto) se requiere el encapsulamiento de las correas transportadoras. 2. Evitar los puntos de transporte mediante la utilización de cintas transportadoras cerradas, que pueden tener curvas en su recorrido. 3. El diseño de las cintas debe ser adecuado considerando el tipo de material a utilizar y la distancia de transferencia, de manera de reducir al máximo las emisiones. 4. Implementación de sistemas de control de carga y centrado: (Caudal, centrado, tensado) 5. Reducción de distancias entre rodillos 6. Incluir en las correas rascadores de carga para retiro de material remanente desde la correa 7. Implementar alguna de las siguientes medidas primarias (si las correas no están cerradas) o secundarias si las correas están encapsuladas: a. Sistemas aspiración b. Sistema de nebulización c. Sistema de pulverización (agua con aditivos) 8. Se deben considerar los siguientes aspectos críticos en el diseño y operación de la cinta o correa: a. Tensión de la cinta b. Velocidad de la cinta c. Anchura de la cinta d. Concavidad de la cinta.

(Continuación)

Actividad/ Operación	Medidas o Técnicas
Transferencia interna de material: traspaso desde/ hacia cintas transportadoras	B. IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE CAPTACIÓN DE POLVO 1. Para gráneles clase del tipo de pulvuriulencia alta y media, deberá considerarse sistema de captación y filtración de polvo en puntos de transferencia entre transportadoras.
Carga y descarga de material	A. SISTEMAS DE CARGA/DESCARGA TOLVA 1. Implementar sistemas de tolvas, mangas, tuberías de llenado o tobogán evitando la caída libre del material. 2. El diseño de la Tolva debe ser adecuado según la pulverulencia del material, los regímenes de vientos, por la adecuación entre cuchara y tolva, por el mantenimiento, por el sistema de transporte horizontal utilizado y por la calidad de la operativa seguida en la carga de la tolva con la cuchara, así como en la carga de camiones. 3. Implementación sistemas de apantallamiento de la Tolva en punto de carga. 4. Implementación sistema de filtros en la corona de tolva y/o en la transferencia de la tolva a correa/camión/vagón. Esta puede ser una medida primaria o secundaria dependiendo del control de las emisiones logradas con medidas anteriores. 5. El control de caída de material durante la descarga a camiones, puede realizarse mediante mangas telescópicas o tolvas telescópicas de cascada. (Para sustancias no dispersables, la altura de caída no es un aspecto tan crítico)  B. IMPLEMENTAR SISTEMAS ASPIRACIÓN O NEBULIZACIÓN 1. Para gráneles de pulvurulencia alta, implementar sistemas de aspiración o nebulización al interior de sistemas de tolvas y/o chutes

(Continuación)

Actividad/ Operación	Medidas o Técnicas
Carga y descarga de material	C. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE DESCENSO DE MATERIAL: 1. Instalación de deflectores en el interior de los tuberías de descarga 2. la utilización de un cabezal de carga al final del tubo para regular el volumen de salida 3. el empleo de cascadas (por ejemplo un tubo o una tolva con caída en cascada) 4. el establecimiento de un ángulo mínimo de pendiente (por ejemplo con las rampas). D. IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD DE DESCENSO DE MATERIAL: 1. El control de caída de material durante la descarga a cintas puede lograrse mediante toboganes herméticos o mediante mangas telescópicas de cascada. E. CARGA/DESCARGA CUCHARAS DE CARGA/DESCARGA: La estructura cerrada reduce al mínimo la generación de emisiones de polvo; a pesar de todo, las emisiones de polvo y los escapes pueden causar todavía una pérdida de material considerable del orden del 2 al 5 %. 1. Implementar de acuerdo al tipo de material, las MTD para el diseño y uso de cucharas. 2. La superficie debería ser lisa para evitar que se adhiriera el material 3. la cuchara debe poder cerrarse en caso de funcionamiento permanente.
Operación con cintas transportadoras móviles	F. MEDIDAS DE PREVENCIÓN 1. Implementación de sistemas de pantallas el tolvas alimentadoras a cintas que proteja el punto de descarga del camión 2. Implementar sistemas de control de velocidad, de limpieza, de centrado encauzadores y monitorización del caudal de graneles. G. MEDIDAS COMPLEMENTARIAS 3. Implementar sistemas de detección de atascos 4. En el descenso o caída de los graneles, implementar sistemas de: Aspiración, Nebulización o cascada según corresponda.

2.4. Transporte de graneles sólidos: camiones o vagones de ferrocarril

Esta sección tiene por objetivo describir los medios utilizados frecuentemente para mover los graneles hacia el exterior o interior de las instalaciones por medios terrestres (camiones o vagones). Los mecanismos de transporte por cintas se analizan en el capítulo de transferencia y manipulación para efectos de la presente guía.

En el transporte de graneles, los impactos ambientales están asociados principalmente a problemas de gestión. En consecuencia, las instalaciones deberán considerar los siguientes aspectos:

- a) Regulaciones contractuales: La regulación contractual entre los distintos actores de la cadena de transferencia y/o manipulación de graneles debe especificar las medidas y condiciones de transporte de carga y todas aquellas en materia medio ambiental. Además de la regulación contractual, los protocolos al interior de la instalación, deberán establecer, identificar al responsable de supervisar el cumplimiento de las medidas y condiciones fijadas.
- b) Responsabilidades y acciones dentro y fuera de las instalaciones: Considerando que el impacto fuera de las instalaciones puede significar de mayor relevancia, se deben considerar medidas complementarias para prevenir y mitigar dichos impactos. Ej. Lavado de rueda de camiones, encarpado de los mismos, etc.
- c) Diseño adecuado de sistemas de carga: Utilizar sistemas de carga a vagones o camiones con mecanismos dosificadores de carga que garanticen el peso y la distribución de los graneles en su interior.

2.4.1. Transporte ferrocarril

Los ferrocarriles suelen participar el proceso de entrega-recepción de mercancía desde puertos al punto de carga-descarga y/o viceversa. En materia ambiental, la operación con ferrocarriles se relaciona con la emisión de partículas durante las operaciones y la generación de derrames en el punto de carga y durante el trayecto, ocasionada por el desprendimiento de material adherida a los vagones.

En carga de vagón con tolva cargadora, las principales causas de emisión de polvo son la caída de mercancía directa sin sistemas de control de descenso y la acción del viento.

El uso de ferrocarril se utiliza en instalaciones que por su volumen u operación, no requieren de sistemas de acarreo continuo hasta el punto de almacenamiento, por lo tanto, tienen alta eficiencia en coste energético respecto del camión en el movimientos de grandes volúmenes de mercancía.



Figura 4.11
Transporte mineral de fierro, FERRONOR.



Figura 2.15
Ej. BP Descarga de vagones con nebulización de agua

Características Generales:

Los tipos de vagones pueden ser del tipo:

- Tolva abierta para transporte de carbón con carga máxima de 53 Tm volumen útil de 70 m3 y velocidad máxima de transporte de 100 km/hr
- Tolva cerrada para transporte de granos y abonos con carga máxima de 56 Tm volumen útil de 75 m3 y velocidad máxima de transporte de 100 km/hr
- Tolva cerrada para transporte de cemento y cenizas con carga máxima de 67 Tm volumen útil de 67 m3 y velocidad máxima de transporte de 100 km/hr
- Tolva abierta para transporte de carbón mineral con carga máxima de 56 Tm volumen útil de 42 m3 y velocidad máxima de transporte de 100 km/hr

2.4.2. Transporte por Camión

Antecedentes

Los camiones intervienen en procesos de transporte desde el interior al exterior de la instalación como también en el transporte interno apoyando operaciones de remoción y traslado de graneles. Al igual que en el transporte por ferrocarril, la operación con camiones convencionales están asociadas a emisiones difusas de partículas a la atmósfera. Por otra parte, los derrames se producen por exceso de carga, velocidad inadecuada, inadecuado mantenimiento de la caja y desprendimiento de mercancía adherida. El material derramado es, además, pulverizado y dispersado sobre grandes superficies como resultado de la rodadura de estos vehículos.

Los tipos de camión más frecuentemente utilizados en el movimiento de graneles sólidos en puertos son:

- **Batea:** que dispone de un brazo basculante para la descarga de la tolva.
- **Cisterna:** Se cargan con sistemas neumáticos estancos y suelen tener sistema propio de descarga estancos y tienen bomba propia para la descarga. Se utilizan con materiales fluidos (cemento y similares)

El rendimiento en tareas de transporte interno está condicionado por las necesidades de organización y remonte de los acopios finales. En tareas de entrega, el rendimiento está condicionado por el sistema de carga y por el adecuado pesaje. En este sentido, excesos de peso en el punto de carga pueden implicar retornos desde la báscula de salida del puerto y el posterior desalojo del exceso de mercancía en el punto de carga.

2.4.3. Buenas prácticas técnicas y operacionales asociadas al transporte terrestre de graneles sólidos

Tal como se ha señalado anteriormente, el transporte terrestre sea por ferrocarriles o camiones producen derrames por exceso de nivel de carga, velocidad inadecuada en giros, faltas de mantención a las bateas y desprendimiento de mercancía adherida o desprendida por sobrepeso. El vertido del exceso de carga da lugar a emisiones de polvo y genera acopios temporales entorno al punto de carga, que son dispersados por las rodaduras de los propios camiones. Además, el retorno de los camiones incrementa el recorrido realizado y, por tanto, los posibles derrames y emisiones asociados.

Tabla 2.7
Enfoques primarios operacionales asociados al transporte terrestre de graneles sólidos Aspectos generales Mediante camiones

Transporte por camiones
1. Cada instalación debe fijar y respetar el límite de velocidad. El transporte interno de camiones, debe ser a velocidad moderada tal que evite la resuspensión de polvo o arrastre de material. Esta velocidad debe quedar establecida en la instalación.
2. Señalizar claramente los límites de velocidad en viales Respetar delimitación de viales y zonas de circulación. Seguir las rutas de circulación definidas por la Autoridad Portuaria no acortando trayectorias atravesando campas de almacenamiento, rutas de acceso
3. Marcar rutas de entrada y salida de camiones a la zona de operación de modo claro, haciendo uso de barreras móviles y sistemas de señalización.
4. Separar la zona de circulación de camiones de la zona de operación de la pala cargadora, mediante barreras móviles, evitando que los camiones rueden por las orillas del acopio
5. Limitar velocidad a 20 Km/h cuando se circule por superficies no pavimentadas o con restos de mercancía en el pavimento.
6. Estacionar solo en zona habilitadas por la Autoridad Portuaria a tal fin.
7. Verificar cierre y toldado. No abandonar la zona de carga sin verificar la ausencia de derrames y el correcto toldado de la caja.
8. No avanzar con caja basculada. En tareas de descarga no comenzar la maniobra de retirada con la caja basculada.

(Continuación)

Transporte por camiones
9. Implementar sistemas de toldos automáticos o semiautomáticos
10. Encarpar en trayectos internos. Mantener toldado el camión en los trayectos dentro del puerto. En caso de que no fuera posible limitar velocidad a 20 Km/m
11. No colmar la caja del camión. Cargar los camiones sin realizar colmados que rebasen la altura de las paredes de la caja.
12. Prevenir sobre cargas mediante el uso de sistemas de pesado a bordo.
13. Señalizar retorno de sobrecarga: En caso de sobrecarga del camión, el retorno de la mercancía sobrante se realizara en la zona de carga en un punto señalado mediante barreras móviles. En operativas de carga de camión con pala desde acopio los retornos por sobrepeso se recogerán periódicamente incorporándolos al resto del acopio. En operativas con tolva o cargador, los retornos por sobrepeso se recogerán directamente en el cazo de una pala.
14. Establecer pautas criterios y protocolos de mantención de camiones y anexos.
15. Reducir la distancia de transporte a través de vehículos priorizando en transporte por cintas o las instalaciones intermedias
16. Los sólidos pulvulentos, deben ser transportados en sistemas o camiones tipo estancos o cisternas
17. Los caminos interiores (circulación de camiones), deben estar asfaltados y conservados en buen estado

(Continuación)

Trasnporte por vagones de tren

- 1. Verificar que aquellos vagones que disponen de capota superior, quede cerrada tras la carga.
- 2. Disponer de un procedimiento de carga que garantice un reparto uniforme de la carga en el vagón. Evitar la carga mediante palas para graneles sólidos que sean altamente pulvulentos.
- 3. Verificar en forma periódica la hermeticidad de los vagones.
- 4. Los vagones deben movilizarse libre de material adherido a ellos. Es decir, deben ser sometidos a sistemas de limpieza en los puntos de carga/descarga y viceversa.
- 5. Verificar que aquellos vagones que disponen de capota superior, quede cerrada tras la carga.
- 6. Disponer de un procedimiento de carga que garantice un reparto uniforme de la carga en el vagón. Evitar la carga mediante palas para graneles sólidos que sean altamente pulvulentos.
- 7. Verificar en forma periódica la hermeticidad de los vagones.
- 8. Los vagones deben movilizarse libre de material adherido a ellos. Es decir, deben ser sometidos a sistemas de limpieza en los puntos de carga/descarga y viceversa.
- 9. Implementar apantallamiento total de la zona de carga con cortinas en punto de entrada, y descenso mediante tobogán o cono concentrador.

Figura 2.16
Mangas telescópicas de descarga.
Las tres mangas permiten un llenado uniforme de la caja sin necesidad de mover el camión



2.4.3.1. Buenas prácticas asociadas a la operación de carguío de camiones o vagones

El sistema de carga de camiones o vagones se puede realizar desde una tolva alimentadora o desde un silo vertical, para su expedición y transporte terrestre. Para productos en polvo (cemento, harinas), se debiera utilizar una manga con cierre estanco, sobre tapa de camión cisterna.

Para productos con granulometría variada (clinker), se incorpora una manga telescópica que deposita el material sobre el volquete.

Sus requerimientos de espacio no son grandes y el diseño depende de las características de densidad, abrasividad y volúmenes a mover.

Si bien estos sistemas e carga presumen una ventaja ambiental respecto de la carga directa con pala, igualmente se pueden producir emisiones significativas por ejemplo, si la altura de caída es elevada o si la cascada de material está expuesta al viento. La pérdida de material por dispersión puede evitarse mediante la implementación de mangas de descarga o tolvas telescópicas que en caso de mover mercancías pulverulentas, pueden contar con aspiración o nebulización de agua.

2.4.3.2. Buenas prácticas operacionales asociadas al transporte de graneles: encarpado de camiones

El objetivo de encarpar los camiones es prevenir derrames de material en el momento de la circulación de estos. Su principio de funcionamiento es cubrir con toldo o carpa la tolva del camión. Sin embargo, la eficiencia de la medida, depende de los métodos utilizados:

- a) Toldo corredero desplegable a lo largo de las guías mediante medios automáticos o manuales
- b) Lona de instalación manual desplegable

Figura 2.17
Transporte de Graneles por Camión



Dispersión de cenizas desde camión



Toldo Plegable



Toldo manual

Aplicabilidad

Para camiones relacionados con un despacho final de material y transporte terrestre, los vehículos deben ser encarpados con independencia del tipo de mercancía movida y del entorno. En este caso, para que el encarpado sea eficaz, es necesario respetar la tara de la carga del camión de modo que éste salga del punto de carga sin exceso o defecto de peso, pues de lo contrario deberá retornar al punto de carga, quitar el toldo y volver a toldar.

Para camiones que se utilizan al interior de una instalación (transporte interno), se recomienda toldar los camiones en su trayecto interno siempre que se muevan mercancías de pulverulencia alta o media. Para que esta medida sea operativamente viable, es necesario que los camiones que operen dentro de la instalación dispongan de toldos correderos con accionamiento, bien automático desde cabina, o manual desde el suelo.

En cualquier caso, se recomienda que para camiones de transporte interno como fuera de la instalación, se utilicen toldos correderos con accionamiento automático desde cabina que eviten la permanencia del camión en el punto de operación.

El uso de toldos automáticos o semiautomáticos favorece la prevención de accidentes al evitar que el conductor trabaje en altura.

Una desventaja de los toldos manual es retardar la operación debido al tiempo que implica el encarpado del camión.

2.5. Métodos y técnicas secundarias o adicionales en la manipulación de materiales pulverulentos o dispersables

2.5.1. Sistema Lavado Rueda de Vehículos Motorizados

Estos sistemas de limpieza están diseñados para evitar que los vehículos motorizados que han recolectado polvos en los neumáticos en alguna instalación, este no sea distribuido en la trayectoria del vehículo. Dependiendo del tipo y características del material, en el mercado existen distintos diseños desmontables (para obras civiles) o permanentes y que varían desde simples piscinas o técnicas más sofisticadas acompañados por sistemas mecánicos de limpieza de la superficie de rodadura de los neumáticos. Lo anterior deriva en sistemas:

Paso continuo: donde el lavado de ruedas se realiza con el paso del camión en movimiento. Este circula lentamente sobre la plataforma de lavado mientras que agua a presión va eliminando la suciedad adherida a las ruedas y espacios bajo el vehículo.

Sistema estático o Batch: En este sistema, los ejes del camión se posicionan sobre unos rodillos para su lavado, operación que se repite en cada eje hasta que se hayan limpiado todas las zonas. Este sistema implica la detención del vehículo para su limpieza.

Los aspectos técnicos más relevantes a considerar para la elección de un sistema de lavado de camiones se pueden resumir en:

- La naturaleza del polvo fino presente en las instalaciones.
- El contenido de sustancias peligrosas en el polvo
- El tipo de suelo y la cantidad del tierra suelta o polvo disperso
- El número de camiones por hora que va a utilizar el sistema. Esto no tiene importancia respecto de la decisión de instalación de un sistema cuando se trata de cercanía a poblaciones o áreas sensibles. Solo cobra relevancia para definir el diseño del sistema.
- La disponibilidad del recurso hídrico.

Dentro de las buenas prácticas relacionadas con la utilización de sistemas de lavado de ruedas de camiones, se recomienda:

- Mantener limpios caminos internos y de salida
- Aplicar rigurosamente las buenas prácticas de operación en los sistemas implicados en la manipulación y transporte de la mercancía a fin de evitar mermas y sobre exigir el sistema de lavado
- En lavaruedas de paso continuo, circular a velocidad moderada (< 5Km/h)
- En el mantenimiento del equipo prestar especial atención a:
 - Estado de los inyectores difusores de agua
 - Niveles de presión del agua
- La eficiencia del sistema depende del número de ejes del camión y del tiempo de permanencia en el sistema de lavado.
- Para camiones con mucha suciedad, los sistemas discontinuos son más eficientes que los sistemas continuos

El recurso hídrico resulta una variable técnica y ambiental a considerar. En otras palabras, la viabilidad del sistema lavaruedas exige el reciclaje del agua escurrida por el camión y recoger los restos eliminados. Por ejemplo, la limpieza de 25 camiones con sistemas de paso continuo produce un volumen de agua escurrida comprendido entre 25 y 50 m3, que tanto por motivos ambientales como económicos no puede desecharse directamente.

Figura 2.18 Sistema de Lavado de Rueda de camiones implementados en el Territorio Quintero Puchuncaví



Planta de referencia: CATAMUTÚN ENERGÍA, AES GENER Ventanas y varios plantas más de Duisburg, Alemania.



Sistema de Lavado Tipo Puente

Nota

Todas las medidas adoptadas para el control de emisiones, deben considerar un indicador medible o trazable de desempeño o eficiencia.

2.5.2. Sistemas de captura de polvo por atomización o nebulización

Estos sistemas se aplican para suprimir las emisiones de polvo generadas por la manipulación de graneles pulvulentos y/o en operaciones que involucra el descenso de mercancía por caída libre, mediante la generación de una bruma densa de pequeñas gotas de agua que capturan las partículas en suspensión haciéndolas precipitar de forma aglomerada, sobre los graneles sujetos a manipulación.

Los sistemas atomizadores crean gotas comprendidas entre las 20 y 200 µ conforme el agua circula a presión a través de inyectores especiales. Por otra parte, los nebulizadores generan gotas entre 50 y 150 µ haciendo pasar el agua a presión a través de inyectores.

El aporte de humedad que se introduce a los graneles fluctúa ente el 0,7% al 0,5%, dependiendo del tipo de sistema de aplicación y de los puntos de manipulación o transferencia en los que actúa.

Un diseño inadecuado de captura o supresión de polvo puede hacer incluso que las corrientes de aire actúan como fuentes adicionales de generación de polvo y estimulen la salida del mismo, fuera de la operación. En consecuencia, la eficiencia del sistema depende de los siguientes factores:

- **Velocidad de caída:** La velocidad de caída influye en el tiempo de residencia de la gota en el sistema facilitando la formación de bruma.
- **Tensión Superficial:** En gotas muy pequeñas, es menor la tensión superficial incrementando la eficacia de la gota para aglomerar polvo
- **Superficie de captura:** Está relacionado con el tamaño eficaz de la gota lo que influye a su vez, en la capacidad de captura.
- **Dirección del Chorro:** No es recomendable direccionar la niebla en forma directa sobre la superficie del material pues el objetivo **“son las partículas en suspensión”**
- **Cobertura:** La capa de niebla tiene que garantizar la mayor cobertura al sistema a tratar. El polvo emitido se debe de ver obligado a atravesar la manta de niebla generada.

Atendiendo al volumen de agua aplicada y al tamaño de las gotas de agua, es posible distinguir los siguientes modos de aplicación:

Sistema	Principio de actuación	Uso de aditivos	Aporte de humedad
Aspersión	Prevención	Puede utilizar aglomerantes para mayor estabilización	> 1% No homogéneo solo trata capa superficial
Pulverización	Prevención	Pueden usarse tensoactivos para mejorar humectación	< 1%
Atomización	Captura	Pueden usarse para mejorar humectación	> 0.7%
Nebulización	Captura	No resulta necesario	< 0.5%

La Aplicabilidad de esta medida está orientada a emisiones de partículas a la atmosfera por:

- Descenso de material por descarga en caída libre.
- Arrastre del viento sobre acopios y material derramado.
- Resuspensión de material por rodado de vehículos.
- En interior de tolvas y correas transportadoras mediante pulverización con inyectores
- En descarga de camiones
- Caminos

Dentro de las buenas prácticas relacionadas con la utilización de sistemas supresores de polvo, se recomienda:

- Control durante la operación del nivel de presión del agua y del aire.
- Buenas prácticas operativas en la manipulación de todos los sistemas implicados, en especial en tolvas, acopios temporales, cucharas, palas y camiones.
- Verificar antes de las operaciones que los inyectores no presentan atascos y producen chorros uniformes de bruma.
- Se debe considerar la disponibilidad de agua del sector, las condiciones de evaporación que pudieran convertir el Sistema de riego, en un Sistema ambientalmente inadecuado. En general, el sistema tiene un elevado consumo de agua que fluctúa entre 10 y 50 litros por tonelada ⁽¹⁵⁾.
- Intensidad y dirección del viento. Los flujos de agua pueden ser desviados y deformados por el viento, reduciendo su alcance y eficacia. Por tanto, la instalación de estos equipos requiere caracterizar el régimen de vientos con el fin de determinar la potencia y ubicación optima de los cañones para que el sistema trabaje en condiciones adversas.

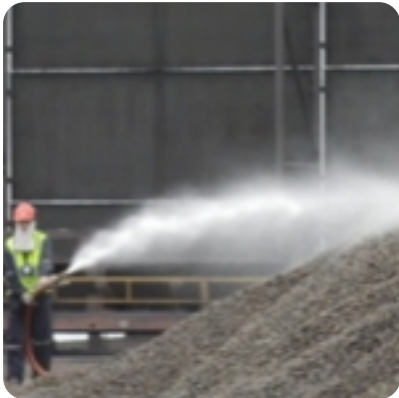
(15) Datos proyectos ingresados al Sistema Evaluación Impacto Ambiental

- Sistema de activación. Es conveniente disponer de un sistema de activación automática del riego que operen función de la dirección e intensidad del viento, y del nivel de humedad relativa del aire.
- Escorrentías y reutilización del agua. Muchas de las mercancías movidas son hidrófobas, por lo que una buena parte del agua aplicada es escurrida dando lugar a escorrentías que pueden deteriorar la calidad del agua subterránea o superficial. Por ende, se debe disponer de sistemas de recolección de aguas de riego y sus correspondientes sistemas de mantenimiento y limpieza.
- Reducción del poder calorífico. En los carbones la aportación de agua supone una reducción de poder calorífico que puede estar entre 27000 y 140000 KJulios por tonelada.

Figura 2.19
Sistemas de Humectación de Parvas



Pulverización de agua con inyectores



Forma ineficiente de humectación de pilas



Aspersión con tuberías fijas

2.5.3. Barreras cortavientos, pantallas y muros perimetrales

Las áreas abiertas son una práctica común para almacenar enormes cargamentos voluminosos agregados, por lo que la generación de polvo debe ser considerada como un problema ambiental y operacional significativa. El criterio fundamental para la ubicación de las barreras está relacionado con la dirección predominante del viento, y su tamaño depende de la altura de la pila de graneles que se pretende proteger de la acción del viento. En el caso de las barreras vivas se pueden utilizar las mismas especies arbustivas y arbóreas nativas de la región y disponerlas en forma estratificada. En las barreras artificiales se usan telas o mallas sintéticas (polisombra o geotextiles). También se puede usar una combinación de ambos tipos de barreras.

Varios factores influyen en la cantidad de polvo generado ^{(16) (17)}, e incluyen:

- 1 Características de viento: (dirección, Velocidad, ráfagas, etc.)
- 2 La accesibilidad del viento
- 3 Elevación de la superficie expuesta al viento
- 4 Parámetros de partículas: el diámetro, la densidad, la forma, la humedad, etc.
- 5 Presencia de elementos no erosionable y formación de costras
- 6 La perturbación de la superficie

Algunas medidas implementadas para el control de emisiones fugitivas proveniente de pilas de acopio y otras fuentes son los muros perimetrales y pantallas cortavientos.

(16) J. Xuan "Factores de turbulencia de la velocidad umbral y la tasa de emisión de polvo mineral atmosférica, Atmos. Environ., 38 (2004), pp. 1777-83
(17) Documento de Evaluación Técnica EPA, Información Disponible para estimar las emisiones de aire para piedra Minería y las operaciones de extracción, 1998.

2.5.3.1. Pantallas Cortavientos y Atrapapolvo

El objetivo de las pantallas cortavientos a barlovento del acopio o de las zonas de trabajo, es proteger dichas zonas de las corrientes de viento con el fin de evitar el efecto erosivo del mismo sobre pilas de almacenamiento y arrastre de partículas de polvo de otras fuentes (cintas de apilamiento, tránsito de camiones, plantas de trituración de áridos, descarga de silos, manejo de gráneles). En otras palabras, evita la formación de remolinos generados por el desvío de las corrientes en la zona protegida.

Por otro lado, la instalación de pantallas atrapa-polvo, a sotavento de la pila de acopio, buscan reducir la velocidad del viento con el fin de favorecer la deposición de las partículas en suspensión.

En términos generales, el principio de funcionamiento puede resumirse en:

- Reducir la erosión provocada por el viento sobre los materiales. Pantallas cortavientos/deflectoras
- Hacer precipitar el polvo en suspensión. Pantallas atrapa-polvo.

Nota

El sistema de “Pantallas de viento” se usa como una medida para reducir la velocidad del viento y así disminuir la cantidad de partículas resuspendidas desde distintos tipos de fuentes no como “atrapa polvo”

Aspectos Técnicos

La EPA ha diseñado metodologías que relacionan las emisiones de polvo fugitivo desde canchas de acopio y las velocidades de viento y con ello, análisis de eficiencia de pantallas cortaviento⁽¹⁸⁾ para el control de emisiones fugitivas de pilas de acopio. En este contexto, se definen los aspectos críticos a considerar en el diseño de “pantallas cortaviento” y que determinan la eficiencia de reducción de viento⁽¹⁹⁾ son altura, longitud, porosidad y posición. Si la pantalla se utiliza para rodear pilas de acopio de graneles, el diseño de la misma juega un papel relevante. Por otra parte y respecto de la porosidad de la pantalla, permite amortiguar el diferencial de presión. Estructuras muy sólidas originan que en sus partes abiertas (ejemplo, aperturas para el acceso de vehículos), se favorezca el flujo de aire desde zonas de alta presión a otras de baja, incrementando la velocidad del aire y consecuentemente, la cantidad de partículas arrastradas por este.



Figura 2.20
Sistemas de Humectación de Parvas

(18) Windbreack Effectiveness for Storage-Pile Fugitive-Dust Control, a Wind Tunnel Study, Bárbara J. Billman and S.P.S. Araya, EPA 1985.
(19) Referida por $R_i = (v_1 - v_0) / v_1 * 100\%$, donde v_1 y v_0 son velocidades de viento con y sin barrera.

Respecto de Pantallas corta-vientos, para reducir la turbulencia en las zonas a controlar donde se encuentran pilas de almacenamiento de baja manipulación o de volúmenes medios, las mallas deben poseer una superficie porosa mayor a 0,20 (20%)⁽²⁰⁾. Esta, es capaz de proteger una distancia a sotavento aproximadamente 15 veces su altura. Una malla con una trama que no permitiera el paso fluido del aire crea corrientes de regreso que limitan la zona protegida.

1 Porosidad

Pantallas porosas evitan la formación de remolino. Porosidades entre 30% y 40%, son recomendadas sin embargo para zonas muy ventiladas, un 60% es una porosidad aceptable, en donde resulte necesario filtrar arenas u otras partículas similares en suspensión. Mayores porosidades pueden crear turbulencias antes y después de la barrera. Para pantallas atrapa-polvo, se recomiendan porosidades de 20% a 30%.

2 Configuración

La configuración de las pantallas en relación al viento y a los acopios depende del efecto deseado. Es recomendable situar las barreras cortavientos perpendicularmente a la dirección del viento frente y al frente de la zona que se quiere controlar. En general, conviene que el ángulo de incidencia del viento sobre la barrera esté entre 65 y 115° entendiendo como la dirección del viento, la dirección más frecuente.

3 Materiales y estructura

Las pantallas pueden ser de placas perforadas o de malla metálica. En cualquier caso debe tenerse en cuenta su resistencia a la deposición de salitre y corrosión. Por otro lado, la estructura y su sistema de soporte (cimentado o con zapatas) deben resistir el empuje del viento y evitar el vuelco de la misma.

4 Diseño

Todo proyecto deberá presentar antecedentes respecto de la eficacia, y diseño óptimo del Sistema de apantallamiento propuesto, mediante modelos numéricos o modelos a escala en túnel de viento que tengan en cuenta el régimen de vientos, encauzamientos orográficos y la presencia de obstáculos significativos al viento (incluidos los propios buques)

(20) EPA, 600/S3-85/059, Sep 1985.

En aquellas zonas con distintas predominancias de viento, la malla deberá envolver al máximo la operación y/o instalación compatible con la operativa.

Barreras corta viento

1

- Se instala entre el viento y la zona de operación que se desea proteger (barlovento). Este tipo de pantallas tienen una acción preventiva, destinada a evitar la emisión de partículas. Actúan “laminando” el viento y reduciendo tanto su intensidad como su nivel de turbulencia, con lo cual se reduce su capacidad para levantar y arrastrar las partículas menos pesadas de la mercancía.
- Reduce la velocidad del viento sobre los acopios
- Permeabilidad recomendada 30% a 40%
- Tamaño abertura 6-10mm
- Grosor de la pantalla 0,8 a 1,5 mm

Barreras atrapa-polvo

2

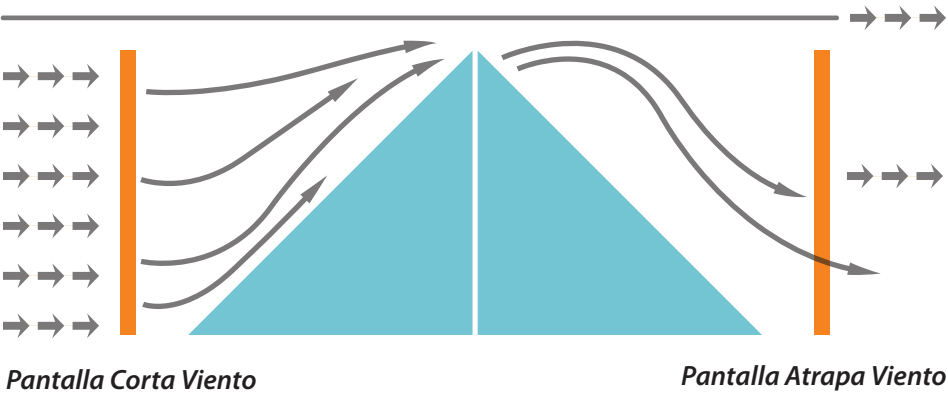
- Se instala tras la zona de operación, una vez que el viento se ha cargado de polvo (sotavento). Este tipo de pantallas tiene una acción atenuante, destinada a reducir la carga de polvo en el aire. Actúan frenando el viento y acelerando la deposición de las partículas en suspensión.
- Hace precipitar las partículas presentes en el aire
- Permeabilidad recomendada 20% a 30%
- Tamaño abertura 4-6mm
- Grosor de la pantalla 0,8 a 1,5 mm

Nota

Para zonas amplias a controlar (por manejo permanente o grandes volúmenes), porosidades superiores a 0,35 (0,35-0,5). Pantallas cortaviento tienden a reducciones promedios de hasta un 30% de la velocidad del viento incidente (además de su turbulencia) en en un 50% en las emisiones de partículas inducida por el arrastre del viento.**Revisado para pilas cónicas y pilas ovaladas.**

Figura 2.8
Comparación técnica
tipos de barreras.

Figura 2.21
Diferencia gráfica entre
pantallas cortaviento y
sistemas atrapapolvo



2.5.3.2. Muros Perimetrales

Los objetivos de implementar muros perimetrales se pueden resumir en:

1

Delimitar acopios: cerrar acopios o delimitarlos con el fin de aprovechar los espacios de almacenamiento, evitar la dispersión del material por el tránsito de camiones, contener los potenciales vertidos a causa del arrastre por lluvias y proteger caminos, sistemas de drenaje, etc.

2

Separación de zonas de operación con zonas de tránsito

3

Organizar la circulación de vehículos, en el caso de muros móviles

Los criterios técnicos y operativos que se deben considerar para la implementación de muros perimetrales y obtener un desempeño ambiental óptimo son:

- Apilar el material hasta una altura que sea menor a 1m de la altura máxima de las paredes que lo limitan (Ver Figura N° 2.22).
- Utilizar las paredes perimetrales que delimitan la propiedad del depósito como muros de separación y no de contención, evitando presiones laterales que impidan el manipuleo del producto con riesgo de derrumbe, a menos que el muro sea de concreto armado lo suficientemente fuerte para soportar un eventual golpe o presión del cargador frontal o del propio material de acopio (Ver Figura N° 2.23).

- Debido a la altura que alcanzan las cucharas extendidas de los cargadores frontales durante las operaciones de carguío a unidades vehiculares o prácticas de mezcla y apilamientos, se recomienda que los muros perimetrales de los depósitos de almacenamiento, tengan muros perimetrales de material noble con altura de 5 metros como mínimo.

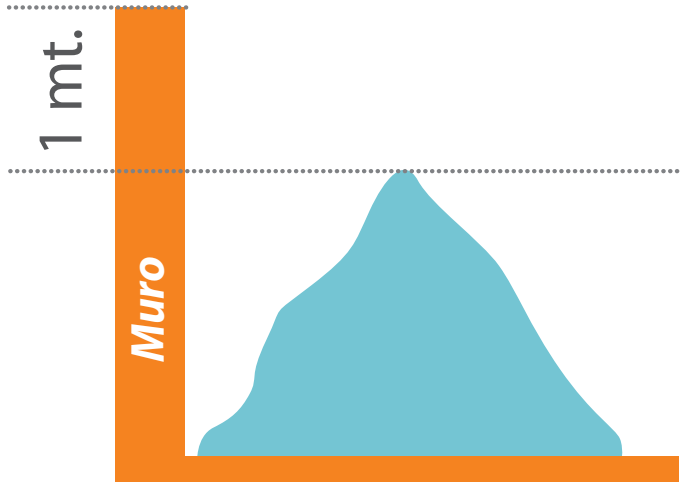


Figura 2.22
*Muros Perimetrales,
especificación de altura*

A efecto de minimizar los efectos de la acción mecánica del viento sobre los concentrados apilados en los depósitos, se recomienda colocar sobre las paredes, mallas cortavientos de 2 metros de altura como mínimo, con un ángulo de 45° en el extremo, hacia el lado interior del depósito

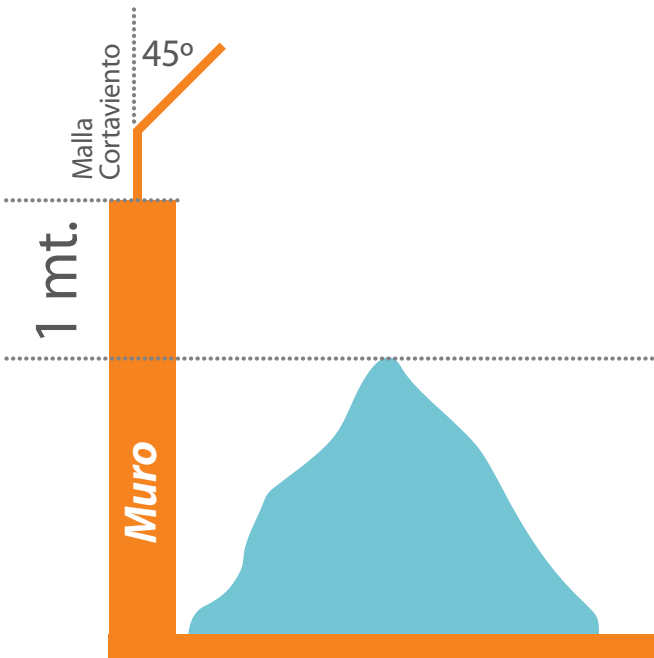


Figura 2.23
*Muros Perimetrales,
especificación de altura y malla
cortaviento integrado*

2.5.4. Limpieza de suelos y caminos interiores

El tráfico de vehículos por suelos y/o caminos al interior de faenas que están afectas al polvo emitido de las actividades de manipulación de gráneles, puede ser un foco de resuspensión del material, por lo que es necesario no solo mantener limpias las ruedas y partes bajas de camiones, sino también, la mantención y limpieza de los caminos internos de las instalaciones.

Para la limpieza de superficies se utilizará un método en el que sea necesario humedecer o mojar la zona antes de barrer, por su mayor eficacia frente a la limpieza en seco o utilizar sistemas de barrido y aspirado el que incluye sistemas de humectación. Se debe considerar que los mecanismos de limpieza de caminos y rutas viales deben evitar la resuspensión de polvo generados por la propia actividad.

Los aspectos técnicos que se deben considerar para la selección de los equipos de limpieza y aspirado son:

- Mínimas emisiones de gases de escape.
- Mínimas emisiones de sonido.
- Máxima maniobrabilidad.
- Ancho de la boca de aspiración y diámetro del canal de succión.
- Optima relación capacidad-dimensiones
- Caudal de aspiración.
- Ancho de barrido. Como aspecto crítico de selección, se debe considerar la capacidad de limpieza (m2/hora).
- Garantizar la salida de aire limpio desde los depósitos de residuos
- Para caminos colmatados o tratados con antidispersante, no se recomienda el uso de barredoras conforme provocan en hundimiento de la superficie.

Dentro de los aspectos operacionales, dependiendo de los materiales, se produce resuspensión de materiales pulverulentos cuando la velocidad del viento es superior a 5 m/s.

La instalación deberá analizar las condiciones de viento que producen emisiones por la erosión eólica en los caminos (resuspensión).

2.6. Meteorología

La dispersión de contaminantes emitidos a la atmósfera depende de las variables meteorológicas, topografía de la zona, rugosidad del terreno, vegetación, altura de edificios, proximidad al mar, etc.

La meteorología local determina los niveles de calidad del aire lo que y en consecuencia, es relevante que cada instalación que manipule gráneles sólidos y/o almacene al aire libre, conozca las características atmosféricas que le permitan saber cómo se están dispersando los contaminantes emitidos y poder valorar su impacto en la calidad del aire y definir sus niveles de operación en función de la velocidad umbral.

Los contaminantes emitidos en la superficie terrestre se dispersan tanto vertical como horizontalmente siguiendo los movimientos turbulentos del aire. A escala local, la dispersión de las emisiones difusas de partículas generadas por la manipulación, transporte y almacenamiento de materiales y productos sólidos pulverulentos depende fundamentalmente de los parámetros meteorológicos: velocidad y dirección del viento, lluvia, clase de estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla.

El rozamiento del aire con el terreno provoca una reducción de la velocidad del viento en las capas próximas al suelo. Cerca del suelo la velocidad del viento es menor y la variación con la altura depende de la rugosidad del terreno (vegetación, cultivos, edificios,...). En superficies con muy poca rugosidad (terrenos llanos sin arbolado, grandes superficies lisas de agua o de nieve,...) el gradiente vertical de velocidad de viento es suave, mientras que por el contrario, terrenos con gran rugosidad (edificaciones altas de las ciudades, bosques,...) el gradiente de velocidad es más acusado.

Las instalaciones deberán considerar la incorporación de instrumentos meteorológicos in situ con el objeto de recoger información de las condiciones meteorológicas en las que se realizan las operaciones, y relacionarlas con las operaciones de manipulación de graneles sólidos. Seguir las predicciones meteorológicas mediante, por ejemplo, instrumentos meteorológicos propios puede ayudar a saber cuándo es necesario humedecer las pilas, lo cual permite ahorrar recursos al no tener que humedecerlas innecesariamente.

También es recomendable la incorporación en áreas cercanas a las instalaciones de manipulación, carga o descarga o almacenamiento al aire libre de graneles sólidos, sistemas de muestreo de sedimentable, con el fin de definir el impacto real de las actividades en áreas próximas pero fuera del perímetro de actividad.

La rugosidad del terreno modifica el perfil de velocidades del lugar. Existen diferentes expresiones para calcular este perfil de distribución de velocidades. Con el perfil logarítmico, conociendo la velocidad del viento en superficie se puede extrapolar la velocidad del viento en altura mediante la siguiente fórmula:

$$U(Z)=\frac{U^*}{0,41} \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad \text{siendo } Z > Z_0$$

Con esta fórmula se obtiene el perfil de velocidades entre el suelo y la capa límite, que es la zona en la que la fórmula es válida.

Para caracterizar los tipos de terreno se utiliza el parámetro z0 denominado longitud de rugosidad. En Tabla 2.9 se muestran algunos valores representativos para z0.

Tipos de superficies	Z ₀ (m)
Superficie muy lisa	0,00001
Superficie lisa (agua, nieve)	0,001
Zonas costeras	0,001 a 0,002
Vegetación de poca altura y edificaciones ailadas	0,01 a 0,03
Terreno agrícola	0,1
Zona residencial (edificios de poca altura)	1
Zona urbana (edificios altos)	5 a 10

Para analizar cuál es la velocidad del viento a partir de la cual se empiezan a resuspender las partículas, la USEPA ha definido que la velocidad de fricción umbral (U*t) varía entre 0,55 m/s para carbón de tamaño fino y 1,12 m/s para partículas de un diámetro medio de 3mm. A la velocidad existente en un punto de la superficie se le denomina velocidad de fricción (U*).

Para evitar resuspensión de polvo, la velocidad del viento en cada punto de la superficie debe ser menor que la velocidad umbral, se debe cumplir que:

$$U^* < U^*_{t}$$

Experimentalmente se ha demostrado que una simplificación válida de la ecuación de velocidades es utilizar una longitud de rugosidad $Z_o = 0,5\text{ cm}$ (terreno liso) y estimar que $U^*=0.053 \times U^*_{10}$; siendo U^*_{10} la velocidad pico promediada en 1 minuto y referida a una altura de 10m⁽²¹⁾. Esta ecuación se aplica para pilas con exposición uniforme al viento, mientras que para el caso de pilas planas con escasa penetración en la capa de viento se utiliza $0.1 \times \mu s+$, con $\mu s+ = (\mu s/\mu r) \times \mu 10+$ ⁽²²⁾. El valor de $(\mu s/\mu r)$ es seleccionado de la tabla 13.2.5-4 (Metric English Units).

$\mu 10+$ corresponde al perfil de vientos expresado a 10 metros sobre el suelo, el cual se calcula a partir de la corrección del valor de U^* mediante la expresión (5) del capítulo 13.2.5 Industrial Wind Erosion del AP-42.

2.6.1. Definición de los niveles de operación

Es recomendable que las instalaciones que operan con graneles sólidos, definan al menos tres niveles de operación relacionados a dos umbrales de velocidad.

- a) Por debajo del primer umbral, se estará en condiciones normales de operación,
- b) Entre el primer y segundo umbral, se estará en condiciones de alerta, y, finalmente,
- c) Sobre el segundo umbral se establecerá la parada de la operativa hasta que se restablezcan de modo estable las condiciones de operación apropiadas.

El estado de alerta implicará un máximo rigor en el control ambiental de las operaciones, así como la entrada de equipos de prevención adicionales a los ya empleados, como pueden ser sistemas de riego o nebulización.

2.6.1.1. Criterios de Selección de Umbrales

Se ha señalado anteriormente que la definición de los niveles de operación se debe realizar en función de selección de la intensidad del viento, su dirección y su persistencia.

La intensidad determina el efecto dispersivo y la capacidad de arrastre, la dirección establece la probabilidad de afectar a zonas vulnerables, y la persistencia condiciona el volumen total de partículas movidas por el viento.

Para tener en cuenta el efecto de la persistencia, el cambio entre un nivel de operación y otro, se producirá cuando la velocidad media cada diez minutos supere un cierto valor durante un cierto periodo de tiempo, o cuando la velocidad media horaria supere un cierto umbral.

(21) 13.2.5 Industrial Wind Erosión AP-42.
(22) Relación 6 del Capítulo 13.2.5-4

Por otro lado los umbrales de velocidad del viento deben elegirse en función de los siguientes factores:

- a) Distancia de las zonas potencialmente vulnerables.
- b) Pulverulencia y peso específico del granel.
- c) Nivel de emisión del tipo de operativa seguido y eficiencia relativa de las medidas preventivas y atenuantes adoptadas.

En consecuencia, una instalación pudiera por ejemplo, establecer diferentes condiciones de detenciones operacionales en función de los graneles y el tipo de operación.

La definición de umbral de intensidad, dirección y persistencia del viento, a partir del cual se va a definir la parada operativa, debe de definirse a partir de una caracterización, lo más objetiva posible, del efecto de la operativa sobre el entorno natural, social y económico.

Este proceso puede basarse, de modo general, utilizando una o varias de las siguientes técnicas:

- a) **Análisis de episodios:** Este método se basa en el estudio estadístico de las condiciones de viento y operación que han dado lugar a quejas o no conformidades. Para que las conclusiones sean representativas en necesario disponer de un amplio registro de datos.
- b) **Captadores de partículas:** Se basa en la instalación de captadores de partículas que midan en tiempo real en aquellos puntos sensibles a la operativa. El estudio estadístico de series de datos de viento, niveles de partículas y operaciones desarrolladas, permite establecer correlaciones entre las velocidades de viento y posibles situaciones adversas en zonas vulnerables.
- c) **Modelos numéricos:** Se basa en el uso de modelos numéricos de difusión de partículas para determinar el impacto de las operaciones sobre el entorno. Para que esta técnica se eficaz es necesario disponer de una buena caracterización de las emisiones producidas en la operativa. Para este último es conveniente realizar campañas de caracterización instalando captadores de partículas en los puntos de operación.
- d) **Sistemas de medida e información.:** Es conveniente establecer los niveles de operación referidos a una estación meteorológica ubicada en la instalación, que sea representativa de las condiciones del viento en la zona de trabajo.



3. Metodología de evaluación del impacto de las actividades asociadas a la manipulación y almacenamiento de graneles sólidos

Esta sección se dispone de un mecanismo que permita caracterizar la(s) operaciones y evaluar las medidas de prevención y mitigación de impacto por emisiones difusas proveniente de los distintos equipos y fases implicadas en la manipulación y almacenamiento de graneles. La aplicación de medidas se estructura en fases que permiten incrementar la eficiencia ambiental de los equipos adaptándolos a las exigencias del entorno y a las características de los sólidos a manejar.

Los tipos de operación y los equipos involucrados en una instalación, son condicionantes de las potenciales emisiones y de que su magnitud sea más o menos significativa. Así por ejemplo, el grado de exposición al viento y los factores climáticos, la operación por medios continuos o discontinuo, la hermeticidad, las alturas de caída libre, o el número de veces que la mercancía es manipulada, son factores que, entre otros, determinan la eficiencia de un cierto equipo o modelo de operación.

El impacto ambiental de una operación, depende de las características del entorno, la eficiencia ambiental de la operación, del tipo de graneles manipulados y la frecuencia de la actividad.

Dado lo anterior, surge la necesidad de garantizar la eficiencia ambiental de una operación mediante la aplicación de un protocolo de buenas prácticas y mediante la implantación de medidas técnicas que prevengan las emisiones.

Por ello, a la hora de establecer un plan de mejora de la eficiencia ambiental de la operativa, que sea económica y operativamente viable, es necesario tener en cuenta, no solo los equipos y medidas de control ambiental utilizados, sino también todos aquellos factores que determinan el riesgo ligado a la actividad; de manera que el nivel de eficiencia ambiental exigido sea proporcional al riesgo de la actividad.

De modo simplificado, el riesgo ambiental que una operativa conlleva para su entorno social, natural y económico, puede describirse como una función de los siguientes factores.

- a) Tipo de graneles
- b) Intensidad de la actividad, entendida como frecuencia con la que se opera.
- c) Vulnerabilidad del entorno a emisiones.
- d) Eficiencia ambiental de la operativa y de los equipos utilizados

Luego, se hace necesario analizar cada uno de los factores proponiendo una clasificación con sus respectivos indicadores de desempeño, tipificando así los posibles escenarios en función de dichos factores. Para ello, se debe usar la tabla de tipificación de los graneles según su grado de pulvurulencia. Se propone entonces:

3.1. Tipos de graneles

La capacidad para dispersarse o dispersibilidad, es la propiedad que causa la presencia de polvo suspendido en las inmediaciones del sitio donde se efectúa el manejo. Los materiales con alta dispersibilidad son, generalmente, aquellos con baja densidad a granel y reducido tamaño de partícula, lo que los hace comportarse más como gases o líquidos que como sólidos.

Materiales con una relación de dispersibilidad mayor al 50 % son fácilmente fluidizables y, son propensos a fugarse en el sitio de almacenamiento y en su manipulación, a menos que se toman las medidas necesarias.

En este contexto y a fin de establecer un criterio de clasificación de sustancias sólidas de acuerdo a la capacidad que desplazarse desde su fuente, ya sea por efectos de la manipulación y/o de factores ambientales, se sugieren 5 tipos de clasificaciones, basados el “Manual Model Regulations Pollution, SDU publishers, The Hague, 1980, Chapter 3 Storage and Transfer” y las guías INFOMIL de la U.E (23).

- a) **S1:** Sólidos de gran dispersibilidad, no humectable
- b) **S2:** Sólidos de gran dispersibilidad, humectable
- c) **S3:** Sólidos de dispersibilidad media, no humectable
- d) **S4:** Sólidos de dispersibilidad media, humectable
- e) **S5:** Sólidos de no dispersable o ligeramente dispersable

(23) [HTTP://WWW.EPA.GOV/TTN/CHIEF/AP42/APPENDIX/APPB-1.PDF](http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appb-1.pdf) la lista de clasificación de sólidos se basa en las guías holandesas infomil, utilizadas en la u.e. el que a su vez, en el reglamento manual modelo, editores sdu, la haya, 1980, capítulo 3 almacenamiento y manipulación. los sólidos dispersables, se clasifican en base a la opinión de expertos utilizando el método de prueba lundgren (vertical flow cámara polvo) o el método epa túnel micro viento considerando los factores que influyen en la dispersabilidad del sólido como son el tamaño de partícula, la forma y el contenido de humedad. la capacidad de humectación depende no solo de las propiedades del sólido sino, de la disponibilidad de una industria para aplicar humidificación bajo una situación específica.

En el Anexo 4, se encuentra una tabla con el listado de graneles con sus respectivas clasificaciones de acuerdo al grado de Pulvurulencia.

Para efecto de los criterios de cálculo de impacto, la tabla anterior se puede resumir en:

- a) **PB:** Pulvurulencia Baja.(S5) Ej. Gravas, escorias de cobre, Arenas, y productos de mayor peso específico e inferior contenido de finos.
- b) **PM:** Pulvurulencia media. (S4) Ej. Concentrados minerales, carbón térmico, carbón coke
- c) **PA:** Pulvurulencia alta. (S1, S2 y S3) Ej. Clinker, cemento, harinas, cereales.

3.2. Intensidad

Dentro del tipo de graneles dispersables, se incluyen aquellos, que no teniendo una pulvurulencia elevada, requieren de una especial cautela de manipulación. Así por ejemplo, la vaina de la soja, si bien no es una mercancía de pulvurulencia alta, es clasificada como tal ya que el polvo de este producto puede desencadenar reacciones alérgicas en ciertos sectores de la población.

Siguiendo el criterio anterior, se establecen las propiedades de los grupos de graneles considerando la pulvurulencia y sus posibles efectos sobre el entorno. Además, se debe considerar la intensidad. Por lo tanto el riesgo, es proporcional a la frecuencia con que se desarrolla la actividad y a la duración media de cada operación.

Figura 3.1
Clasificación de la Intensidad de la Actividad

Intensidad de la actividad		
Intensidad	Tipo de granel	Tiempo de operación días/año
BAJA	PA	Menos de 20 días al año
	PM	30
	PB	40

MEDIA	PA	Entre 20 y 40 días al año
	PM	30 y 60
	PB	40 y 70
ALTA	PA	Más de 40 días al año
	PM	60
	PB	70
Criterios de cálculo		
Actividad u Operación		Criterio
Almacenamiento al aire libre		Nº de días en el año en que permanecen los graneles en el depósito (incluye la reposición de los mismos)a
Carga y descarga Desde Pila	Desde Pilas	Suma de las horas anuales en que se realiza esta operación en cualquier pila disponible en la instalación.
Carga y descarga		Suma de las horas anuales en que se realiza esta operación ej. Desde barco a tolva-barco a camión, pala a camión, etc.
Entrega y recepción desde barco a bodega		Suma del tiempo en un año que tarda la operación sumado a las operaciones de limpieza del muelle. Ejemplo: la operación de descarga de Clinker dura 5 horas por buque y se realiza 10 veces al año 50 horas/año.

(a) Días en que la pila existe como tal.

Nota 1: La intensidad se calcula para cada tipo de granel (pulvurulencia alta, media o baja). En consecuencia, el nivel de actividad es para cada tipo de granel.
Nivel de Actividad = tiempo de operación granel 1 + tiempo operación granel 2.....

3.3. Vulnerabilidad del entorno

El concepto de vulnerabilidad del entorno tiene por objeto valorar la probabilidad con la que el entorno puede verse afectado por eventos contaminantes, así como los costes relativos que dichos eventos contaminantes pueden tener sobre el medio social, natural y económico.

La vulnerabilidad del entorno, está caracterizada, por tanto por los siguientes factores:

- Accesibilidad: Entendida como la “facilidad” con la que posibles eventos contaminantes pudieran alcanzar zonas sensibles; ya sea por su proximidad a la instalación, o por estar bajo la influencia de vientos procedentes de las zonas de operaciones de almacenamiento y/o manipulación.
- Sensibilidad: La sensibilidad puede entenderse como una medida de los costos o perjuicios que posibles eventos contaminantes acarrearían para las actividades y usos del terreno próximos situados en el entorno del puerto.

De acuerdo a los criterios citados, se propone clasificar la vulnerabilidad del entorno en tres niveles o categorías según los criterios expuestos en siguiente tabla.

Figura 3.2
Clasificación de la vulnerabilidad del Entorno

Vulnerabilidad del entorno			
Nivel de vulnerabilidad	Distancia de las operaciones a zonas sensibles(a)	Frecuencia con la que el viento sopla en dirección a zonas sensibles	Grado de pulvurulencia
ALTA	≤300 MTS	Con cualquier frecuencia	PA, PM
MEDIA	MAS DE 300 MTS Y MENOS DE 1000	Con frecuencia superior o igual al 30%	PA, PM
		Con frecuencia inferior al 30%	PB
BAJA	MÁS DE 1000 MTS PM PB	Con cualquier frecuencia	PM, PB

(b) Definición de zonas Sensibles en tabla 3.3

Criterios de clasificación de zonas sensibles	
Zonas Sensibles	- Se entenderá por zona sensible cualquiera de las siguientes. - Núcleos de población - Zonas del puerto donde se desarrollen actividades comerciales o productivas - Que puedan verse afectadas por depósitos de polvo o vertidos, como son: - Puertos deportivos - Campas de almacenamiento de vehículos sin matrícula - Estaciones de pasajeros. Tanto cruceros como líneas regulares - Zona de operación y almacenamiento de mercancías que pueden verse afectadas por efectos de contaminación cruzada.
Distancia	Para la estimación de la distancia entre zona de operaciones portuarias y zonas sensibles se seleccionará el punto de manipulación de mercancías más cercano a posibles puntos sensibles.
Frecuencia y Dirección del viento	Se estimará a partir de datos instrumentales o procedentes de modelos numéricos que sean representativos de la zona de estudio.
Zonas con diferente Vulnerabilidad	Cuando se hayan identificado varias zonas vulnerables, la vulnerabilidad del entorno será el de la zona con mayor nivel de vulnerabilidad.

A) Eficiencia ambiental de las operaciones y/o de las medidas

La eficiencia ambiental de la operación depende de las tecnologías aplicadas en los equipos y del modo con que se operan los mismos, la experticia de los operadores y del modelo de operación (continuos, discontinuos, canchas abiertas, etc.) Dado lo anterior, es necesario asociar a cada operación un índice que mida, en términos relativos, su eficiencia ambiental en relación a un sistema óptimo, en el cual la mercancía es manipulada de modo continuo, mediante sistemas herméticos dotados de medidas de prevención y atenuación en transferencias.

Tabla 3.3
Criterios de Clasificación de zonas Sensibles

Tabla 3.4
Niveles de Aplicación de Medidas

Niveles de aplicación de las medidas		
Nivel	Tipo de granel	Tiempo de operación días/año
Nivel 1	Buenas prácticas operacionales + Buenas Prácticas de Mantenimiento - Elaboración de protocolos operativos documentados que recojan buenas prácticas ambientales - Elaboración de planes de mantenimiento que cubran aquellas partes de los equipos cuyo mal estado o mal funcionamiento pueda generar problemas ambientales	
Nivel 2	NIVEL 1 + técnicas con enfoques primarios estructurales Implantar las medidas preventivas recomendadas para cada tipo de operación. Ej. Encapsulamiento cintas	
Nivel 3	NIVEL 2 + medidas técnicas complementarias enfoques primarios técnicos Implantar conjuntos de medidas preventivas complementarias o atenuantes recomendadas para cada tipo de operación. Ej. Cierres perimetrales	
Nivel 4	NIV_3 + regulación operativa por viento En operativas en las que la graneles es manipulada expuesta a la acción del viento, parar la operativa cuando el viento sople hacia zonas sensibles con intensidades que superen un cierto umbral de seguridad	

También es necesario implementar las medidas de acuerdo a los enfoques Operacionales, técnicos y estructurales y cada una, de manera secuencial. Así por ejemplo, resulta ineficiente implementar sistemas de lavados de rueda de camiones si no se han aplicado medidas de limpieza de las áreas de trabajo.

La presente guía, ha presentado medidas de enfoques asociadas a Buenas Prácticas Operacionales, Técnicas y Estructurales además de Medidas de Enfoques Secundarios (o atenuantes o complementarias). A partir de estas medidas, se propone que la instalación estructure las posibles acciones de mejora de una operación en cuatro niveles de modo que en cada nivel de mejora, se van incorporando de manera secuencial, otras medidas orientadas a reducir y controlar las emisiones de las operaciones. El nivel máximo (Nivel 4) se logra cuando se han implementado prácticas operacionales, estructurales, complementarias y además, se implementan acciones asociadas un control de la meteorología local por parte de la instalación. Dichos niveles se presentan en la tabla 3.4

d.1) Índice de Operación Relativa

A partir de las ideas planteadas, es posible asociar a cada operación un índice que mida su eficiencia ambiental en relación a un sistema considerado óptimo, en el cual los graneles son manipulados de modo continuo, mediante sistemas herméticos dotados de medidas de prevención y atenuación en transferencias.

El índice de eficiencia ambiental de una operación dependerá, por tanto, de las características intrínsecas del mecanismo de operación, del tipo de graneles manipulados, y del nivel de aplicación de medidas que se haya implantado. El índice de eficiencia ambiental adopta los valores mostrados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5
Niveles de Eficiencia

Rango de valores del índice de eficiencia ambiental relativa						
Índice	0 - NO RECOMENDABLE	1	2	3	4	5
Eficiencia	NO RECOMENDABLE	MUY BAJA	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA

Luego se estima un índice de eficiencia relativa por operación, tipo de material.

Ejemplo: Estimación de Eficiencia ambiental transporte Horizontal

Rango de valores del índice de eficiencia ambiental relativa						
Nivel de Aplicación de la medida		Transporte camión			Transporte cinta	
Tipo de Granel		PA	PM	PB	PA	PM PB
Si se aplica N1		0	0	1	1	2 2
Si se aplica N2		1	2	2	2	3 4
Si se aplica N3		3	4	4	5	5 5
Si se aplica N4		5	5	5		

d.2.) Índice de Eficiencia Recomendable

La eficiencia como se ha indicado, la manipulación de graneles sólidos en puertos conlleva un cierto nivel de riesgo ambiental que puede expresarse, de modo simplificado, como una función de la sensibilidad del entorno, de la intensidad de la actividad, del tipo de mercancía y de la eficiencia ambiental de las operaciones.

La tabla 3.6 estructura y cuantifica las ideas anteriores, proponiendo niveles de eficiencia ambiental en función de la intensidad de la actividad y de la sensibilidad del entorno. La influencia del tipo de mercancía queda recogida implícitamente en la eficiencia ambiental asignada a cada tipo de operación y en los criterios de asignación de nivel de actividad.

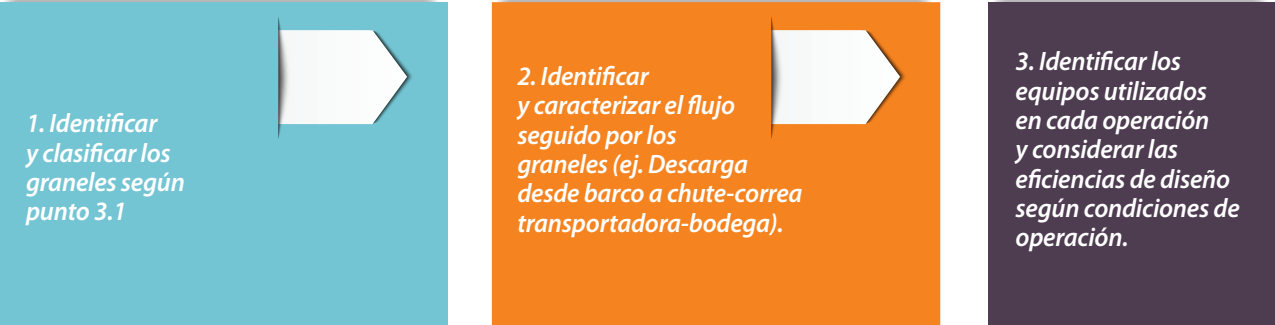
La tabla 5.13 estructura y cuantifica las ideas anteriores, proponiendo niveles de eficiencia ambiental en función de la intensidad de la actividad y de la sensibilidad del entorno. La influencia del tipo de mercancía queda recogida implícitamente en la eficiencia ambiental asignada a cada tipo de operación y en los criterios de asignación de nivel de actividad.

Tabla 3.6
Niveles de Aplicación de Medidas

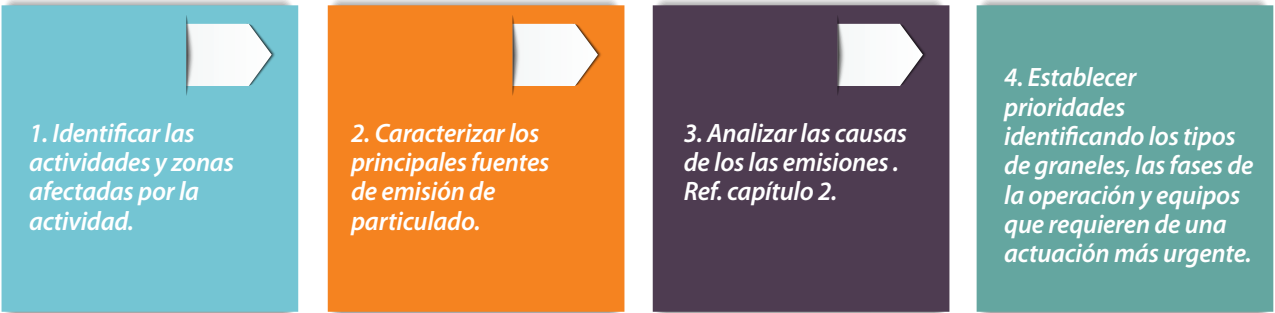
Índice de eficiencia ambiental recomendable			
Vulnerabilidad del Entorno	Nivel de la Actividad		
	Alta	Media	Baja
Alta	5	5	5
Media	4	4	2
Baja	3	2	1

3.4. Modo de aplicación

a) Caracterizar la operación



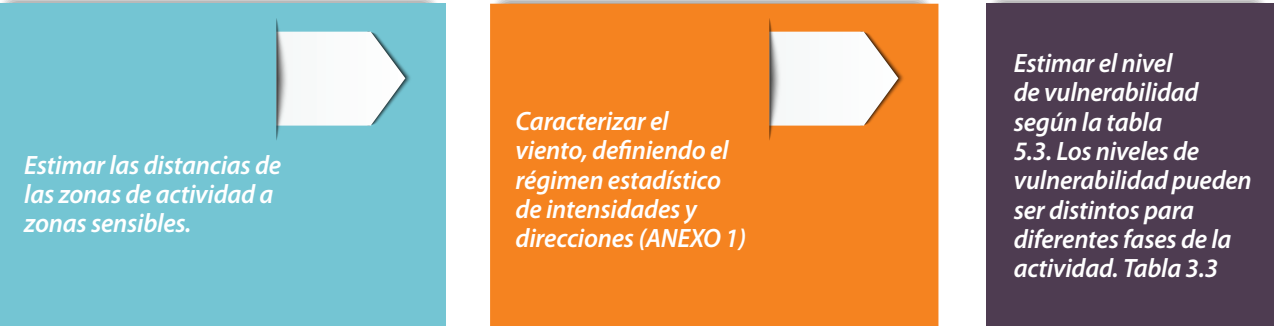
b) Caracterizar los impactos ambientales y sus causas



c) Caracterizar el Nivel de Actividad



Figura 3.4
Vulnerabilidad



d) Caracterizar la vulnerabilidad del entorno.

Figura 3.5
Estimación Índice de eficiencia



e) Estimar el Índice de eficiencia ambiental de la operación a partir de:

f) Estimar si el riesgo ambiental es admisible

Determinar el Índice de Eficiencia Ambiental Recomendado según la tabla 5.13.

- Estimar el nivel de aplicación de medidas de le la operación a partir de las fichas de buenas prácticas.
- Estimar el Índice de Eficiencia Ambiental de la Operación a partir de las tablas 3.4 a 3.6.
- Valorar se el riesgo ambiental está controlado. Se considera que el riesgo asociado al tipo de mercancía y fase de operación, es admisible si el Índice de Eficiencia de la Operación es igual o mayor que el Índice de Eficiencia Ambiental Recomendado.

ANEXO 1

A. Estimación de las Emisiones

La ecuación general utilizada para estimar las emisiones difusas de partículas es:

$$E_{partículas} = FE_{partículas} \times TA \text{ toneladas/año}$$

Donde:
E partículas: emisión de partículas
FE partículas: factor de emisión de partículas
TA: tasa de actividad del manejo y almacenamiento de productos pulverulentos

La ecuación general para estimar las emisiones difusas teniendo en cuenta la reducción atribuible a cada medida correctora es:

$$Em.c. = Cm.p. \times FE \times (1-ER/100)$$

Donde:
Em.c.: Emisión con medida corrector
Cm.p.: Cantidad material pulverulento (t/año manipuladas, procesadas o movidas)
FE: Factor de emisión . La eficiencia debe ser justificada, medible y trazable.
ER: Eficacia de reducción de cada medida

A. Emisión de Tipo Activo por Operaciones de Carga y Descarga

Este tipo de emisión ocurre durante la exposición de material fino al viento debido a la remoción total de material grueso y su posterior descarga por gravedad, la que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$E=\left[k \left(0.0016 \right) \frac{\left(\frac{U}{2.2} \right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2} \right)^{1.4}} \right] \text{kg/(Mega gramo)}$$

(24)

Dónde:
E = Factor de emisión
k = Multiplicador respecto al tamaño de la partícula (Adimensional) ⁽²⁵⁾
U = Velocidad media del viento (m/s) ⁽²⁶⁾
M = Contenido de humedad del material (%) ⁽²⁷⁾

Donde k es un factor adimensional que depende del diámetro aerodinámico de las partículas y se indica en la Tabla 1 del presente anexo.

Tabla 1
Valores del Factor k para diferentes tamaños de partículas

Factor multiplicador según tamaño de la partícula				
< 30 µm	< 15 µm	< 10 µm	< 5 µm	< 2.5 µm
0.74	0.48	0.35	0.20	0.053

B. Emisión de Material Particulado por Erosión Eólica de Pilas o Parvas ⁽²⁸⁾

Para determinar las emisiones eólicas de material particulado desde pilas de acopio, se deben considerar los siguientes elementos o variables:

- Geometría y tamaño de la(s) Pila(s)
- Superficie del área de acopio
- Cantidad de Pilas
- Ubicación de las pilas
- Naturaleza del granel almacenado
- Meteorología propia y de alguna estación de referencia
- Determinación de las ráfagas predominantes
- La emisión de una pila se estima mediante la suma de los aportes de los respectivos potenciales de erosión de las superficies erosionables.

Para determinar el factor de emisión de una combinación de pilas erosionables y no erosionables (superficie de una pila) se utiliza la siguiente expresión y cuyo factor queda expresado en gramos de material particulado emitido por unidad de superficie al año:

$E=(k* \sum Pi) \text{ (g/m}^2 \text{ - año)}$

⁽²⁵⁾ K=0.35 para operaciones de carga y descarga según EPA
⁽²⁶⁾ U corresponde a la media ponderada del valor de velocidad de viento registrado por la estación local de la instalación para el periodo estudiado.
⁽²⁷⁾ M debe venir debidamente justificado en función de los parámetros meteorológicos y las propiedades del material.
⁽²⁸⁾ La estimación se realizará según lo indicado en capítulo 13.2.5 “Industrial Wind Erosion” del AP-42 de la EPA.

Dónde:
K : Factor de multiplicador adicional: 0,5 para el caso del MP10⁽²⁹⁾.
N: Número de perturbaciones de la superficie en el periodo de análisis en que la superficie de la pila es expuesta en condiciones de erosión y en las cuales recibe ráfagas de viento que pueden superar los niveles umbral para ese tipo de material durante un año. (es decir, número de eventos)
Pi= potencial erosivo correspondiente a la ráfaga de viento registrada, más rápida entre dos eventos de perturbación (g/m2). Este potencial se determina mediante la siguiente ecuación:

$Pi = 58 (\mu^* - \mu_t)^2 + 25(\mu^* - \mu_t) \text{ , } \mu^* > \mu_t$

Pi= 0 si $\mu^* \leq \mu_t$
 μ^* = Velocidad de fricción
 μ_t = Umbral para la velocidad de fricción (m/s)

μ^* : Experimentalmente se ha demostrado que una simplificación válida de la ecuación de velocidades es utilizar una longitud de rugosidad $Z_o = 0,5 \text{ cm}$ (terreno liso) y estimar que **$U^*=0.053xU^*10$; siendo U^*10** la velocidad pico promediada en 1 minuto y referida a una altura de 10m ⁽³⁰⁾.

Esta ecuación se aplica para pilas con exposición uniforme al viento, mientras que para el caso de pilas planas con escasa penetración en la capa de viento se utiliza $0.1*\mu_s+$, donde **$\mu_s+ = (\mu_s/\mu_r)* \mu10+$** ⁽³¹⁾. El valor de (μ_s/μ_r) es seleccionado de la tabla 13.2.5-4 (Metric English Units)

$\mu10+$ corresponde al perfil de vientos expresado a 10 metros sobre el suelo, el cual se calcula a partir de la corrección del valor de U* mediante la expresión (5) del capítulo 13.2.5 Industrial Wind Erosion del AP-42.

μ_t : 0,62 m/s para pilas planas correspondiendo esta al valor seleccionado para superficies de pilas sobre las cuales se desplaza maquinaria pesada y de 1,12 m/s para pilas cónicas considerando este valor para pilas que no se encuentran encostradas ⁽³²⁾.

⁽²⁹⁾ Capítulo 13.2.5.3 del AP-42
⁽³⁰⁾ Relación (4) capítulo 13.2.5 Industrial Wind Erosion AP-42.
⁽³¹⁾ Relación (6) del Capítulo 13.2.5-4
⁽³²⁾ Los valores se pueden obtener de la table 13.2.5-2 Trehhold friction velocities.

C. Emisión de Material Particulado por Operaciones de Harnero

Operaciones con Harnero:

Los factores de emisión de las operaciones por harneros, se encuentran en la tabla 11.19.2-1 del capítulo 11.19.2 “Crushed Stone Processing and Pulverized Mineral Processing” del AP-42:

- Sin control: 0,0043 kg MP-10/ton
- Con control: 0,00037 kg MP-10/ton

D. Emisión de Material Particulado por Operaciones de Transporte

Las emisiones en las operaciones de transporte quedarán expresadas bajo la siguiente ecuación (33):

$E= 5,9 * (s/2) * (v/30) * (w/3)^{0,7} * (w/4)^{1,2} * (d/365) * (lb/mV-Veh)$

Dónde:

- E:** emisión de material particulado /lb/mV-Veh) y representa las libras emitidas por milla recorrida por vehículo
- S:** Silt, % componente fino bajo 75 µm de diámetro equivalente. Si no se posee información, asumir 12%
- v:** Velocidad (mph)
- w:** Peso (ton)
- d:** N° de días en el año con pp < 0,254 mm de agua caída. En otras palabras, estadística de días secos, sin precipitación o humectación.

(33) Capítulo 11.2.1 del AP-42 “Fugitive Dust Sources”, Tabla 7, Vehicle Traffic on Unpaved Roads Emission Factor Equation. Range of Test Conditions and Ratings”

ANEXO 2

Erosión Eólica y Eficiencia de Corta-Vientos para el control de emisiones

El control de las emisiones causadas por erosión eólica, desde almacenamiento de pilas al aire libre, es poco considerado y controlado por el sector industrial de la región, debido a su potencial emisor respecto a las grandes fuentes emisoras del área.

No obstante, existe un efecto sinérgico y algunos impactos negativos en los distintos niveles (Salud, ambiente, Económico y social), relacionados con las distintas actividades de manejo y manipulación de gráneles sólidos, como: Incremento de partículas en suspensión, Inhalación de partículas, Reducción de la visibilidad, Incremento de costos de limpieza, Contaminación cruzada, entre otros.

El propósito que se postula a continuación, es medir las emisiones del conjunto de actividades ligadas directa o indirectamente al movimiento de gráneles sólidos, y obtener los parámetros de eficiencia ambiental global de dicha actividad.

Ecuación Predictor de Emisiones

La Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en ingles), en su capítulo 13.2.4 "Aggregate Handling And Storage Piles" del AP-42. Tiene información para el cálculo de emisiones en almacenamiento de pilas descrito en el Anexo 1, en donde considera, el total de emisiones de polvo en las pilas de almacenamiento, como un resultado de varias actividades, con fuentes distintas, pero relacionadas con el ciclo de almacenamiento, las que son:

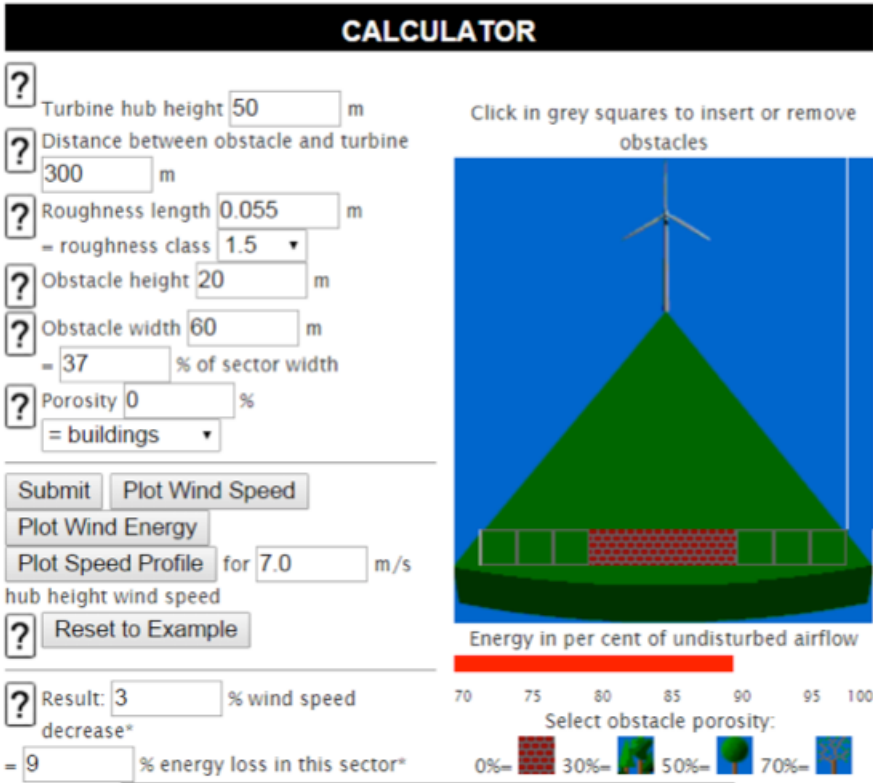
1. Carga de agregado en (operaciones por lotes o de caída continua) pilas de almacenamiento.

- 2. Equipo de tráfico en el área de almacenamiento.
- 3. La erosión eólica de las superficies de la pila y áreas de tierra alrededor de las pilas.
- 4. Carga de agregado para el transporte.
- 5. Adición o eliminación de material a una pila de almacenamiento.

La cantidad de las emisiones de partículas generada por cualquier tipo de operación, se puede estimar, utilizando siguiente ecuación empírica del anexo 1.

A. Método Wind Shade Calculator

Wind Shade Calculator (ver imagen 13.1), utilizado en ingenierías eólicas, perfila las velocidades del viento, en el sotavento (“Wind shade”), respecto las perdida que causa un obstáculo.



De esta manera, extrapolamos el motor eólico y obstáculo, como la pila de acopio y el cortaviento, respectivamente. Pudiendo así modelar la eficiencia de un cortaviento.

Figura 1: Plataforma online “Wind shade Calculator”.

La plataforma resuelve el porcentaje de viento que restringe una pantalla cortaviento. Pero análogamente, existen variables (rugosidad, wake effect, park effect, tunnel effect, hill effects, entre otros) que deben ser estudiadas cuando se considera la erosión eólica, dentro de las pilas de almacenamiento. Pues si estas condiciones se presentan, condicionan un aumento o disminución de un episodio erosivo.

A continuación se explica el llenado de datos para una correcta modelación del efecto reductivo de un cortaviento.

- **Turbine hub height:** Se debe ingresar la altura máxima de la pila (en metros), medida desde el suelo base.
- **Distance between obstacle and turbine:** Ingresar la distancia (en metros) entre cortaviento y la base de la pila.
- **Roughness length:** Se refiere a la longitud de rugosidad, se sugiere dejar en blanco sin modificar. Más abajo existe una casilla “= roughness class” (Clase de rugosidad), aquí se dan opciones de autocompletar con dígitos entre el 0 y 4, en nuestro caso selecciona la opción 3.5.
- **Obstacle height:** En esta sección ingresa la altura del cortaviento (metros). Medida desde el suelo base.
- **Obstacle width:** En esta sección ingresa el ancho del cortaviento (metros). Automáticamente abajo se indicara el porcentaje de cobertura respecto el acopio. Tener en cuenta que la plataforma considera que el centro de la pila (acopio) está frente con el centro del cortaviento, en línea recta respecto la dirección del viento.
- **Porosity:** Ingresar el porcentaje de porosidad del material utilizado como barrera cortaviento (Respaldar con la información técnica de este).

For hub height wind speed: Indicar la velocidad media del viento (metros por segundo).

Los resultados aparecerán numéricamente:

A. Porcentaje de decaimiento de la velocidad (% wind speed decrease)

- Un porcentaje de decaimiento en velocidad del viento igual a 0%, significa que la barrera no es eficiente. No representa obstáculo alguno para el viento.
- Un porcentaje del decaimiento en velocidad del viento igual o superior a 100%, significa que la barrera es muy eficiente. Capaz de reducir la velocidad del viento a cero metros por segundo. Sin afectar la pila en alguna de sus partes.

B. Porcentaje de Perdida de energía en el sector.

Es la perdida de energía eólica por el obstáculo. No representa interés de estudio al respecto.

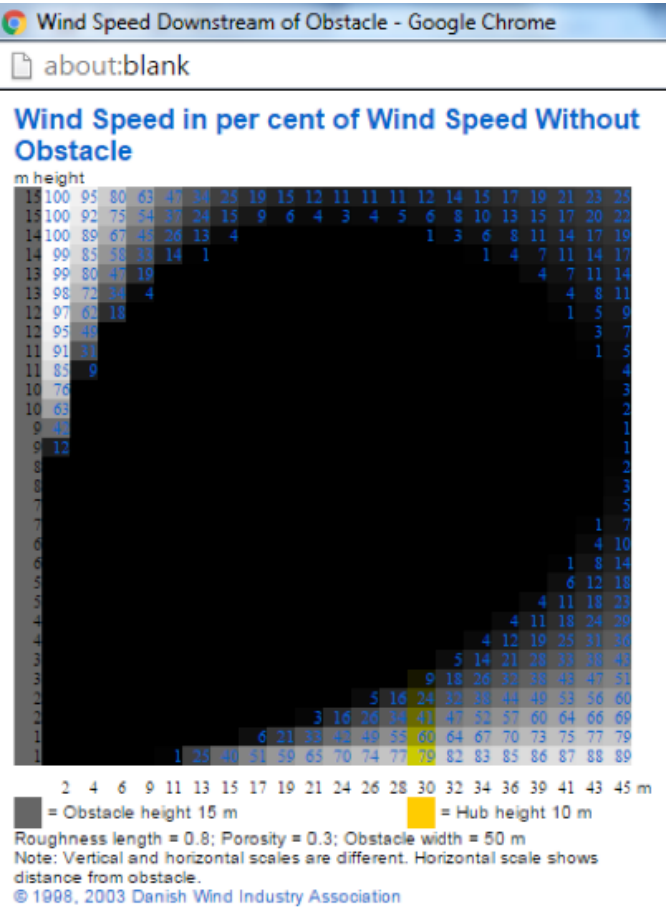
C. Gráfico de velocidad del viento (plot wind speed).

Se entrega una gráfica de velocidad del viento con obstáculo, como se ve en la imagen 13.2. En el eje a la izquierda (en gris) se representa la protección cortaviento, paralelo a este (en amarillo) se visualiza la pila. Perpendicularmente a estas rectas, en el eje x, se muestra la diferencia (en metros) entre el obstáculo y la pila.

La zona ennegrecida corresponde a la zona sin viento (100% de eficiencia), análogamente la numerada representa la cantidad de viento que pasa, respecto la malla. Si el número es 1 significa que solo un 1% del viento promedio esta en ese pixel, mientras que si es 100 significa que no hay reducción del viento en ese pixel.

Grafico perfil de velocidades (plot speed profile): Permite comparar las diferencias de velocidades con y sin barrera cortaviento.

Figura 2: Ejemplificación de la gráfica resultante



NOTA: Es posible que al final de los resultados entregue un mensaje como: “resultado incierto: Obstáculo demasiado cerca y demasiado alto (“Uncertain result: Obstacle too close and too tall”). No obstante, es parte de la anomalía que detecta la calculadora, al extrapolar una herramienta con fines eólicas a erosivos.

La reducción no se producen inmediatamente existe unos 5 metros de distancia horizontal, desde la malla hasta la pila, en que no hay cambios como los que representa la gráfica.

B. Método Numérico

Las tasas de emisión de polvo fugitivo, en las pilas de almacenamiento, dependen del material almacenado (densidad, contenido de humedad y tamaño de las partículas de distribución), la geometría de la pila de almacenamiento, la altura de la pila, la velocidad del viento. Siendo este último requisito prioritario, debiendo superar la velocidad umbral de la partícula. La literatura indica que las velocidades umbrales, van del rango entre los 0.2 a 2 m/s, dependiendo del tipo de material.

Una forma de medir la eficiencia es mediante la siguiente formula; dependiente únicamente de las velocidades.

$$E = \left(1 - \frac{U_i}{U_o} \right) \times 100\%$$

Dónde:

- E:** Porcentaje de eficiencia del cortaviento.
- Ui:** Velocidad del viento promedio en la cara sotavento, idóneamente donde está la pila.
- Uo:** Velocidad del viento promedio previo a la malla, idóneamente 5 metros previo al obstáculo.

NOTA: Se sugiere hacer el cálculo mínimo en 4 puntos distintos de la pila, y luego considerar la eficiencia más baja.

Para mejorar la eficiencia de las pantallas y de la manera más económica, el diseño ideal de cortavientos se entregan unos antecedentes, recabados en documentación de la EPA, “Windbreak Effectiveness for Storage-Pile Fugitive-Dust Control: A Wind Tunnel Study”.

Pilas Cónica

- Porosidad de la malla 50%, límite máximo.
- La altura de la pila y la barrera deben considerar una mínima diferencia de un metro, no siendo por ningún motivo la altura de la malla superada por la pila.
- El largo de la malla debe ser, mínimo, de igual medida al diámetro base de la pila
- La distancia entre la malla y la pila debe ser, como máximo, la misma distancia que el diámetro de esta.

Pilas Ovalada con superficie plana

- Porosidad de la malla 50%, límite máximo.
- La altura de la pila y la barrera deben considerar una mínima diferencia de un metro, no siendo por ningún motivo la altura de la malla superada por la pila.
- El largo de la malla debe ser mínimo de 1.5 veces la medida del largo y/o ancho de la base.
- La distancia entre la malla y la pila debe ser ubicada entre 1 y 3 veces, como mínimo y máximo, la medida del largo y/o ancho de la pila.

En ambos casos se debe tener en cuenta que a medida la altura de la pantalla aumenta, esta debe estar más alejada de la pila, teniendo en cuenta las referencias entregadas previamente.

ANEXO 3

Glosario

- a) ACTIVIDADES PROPIAS:** Desarrollo rutinario de la instalación respecto de actividades de carga, descarga, transporte interno y terrestre, almacenamiento y manipulación en general.
- b) ACTIVIDADES ANEXAS:** Operaciones de limpieza, mantenimiento de maquinarias y/o de áreas de trabajo.
- c) ACTIVIDADES DE CONTINGENCIA:** Escenarios asociados a accidentes en cualquiera de las Actividades Propias. Ejemplo: Derrames, auto combustión de acopios, etc.
- d) CARGA Y DESCARGA DE GRANELES SÓLIDOS:** Se entiende como operación de carga o descarga aquella en la que la maquinaria, ya sea una grúa, una cinta, etc., está extrayendo o introduciendo el material en el buque, camión, tren o medio de transporte similar. Dentro de esta actividad se incluye el trasvase de mercancías entre buques.
- e) ACOPIO Y APILADO DE GRANELES:** En el acopio y apilado de mercancías, se incluye la descarga de material formando una parva, ya sea por caída libre o mediante el empleo de algún tipo de canalización, independientemente de cuál sea el dispositivo de descarga y el depósito temporal de la mercancía.
- f) BUQUE MERCANTE DE CARGA GENERAL:** Buque destinado al transporte de mercancía general.
- g) BUQUE POLIVALENTE:** Buque adaptado al transporte de mercancías de tipo variado: contenedores, mercancía general, graneles sólidos y líquidos.
- h) BUQUE PORTAGRANELES:** Buque destinado al transporte de graneles sólidos.
- i) CARGA O DESCARGA:** Se entiende como operación de carga o descarga del buque aquella en la que la maquinaria, ya sea una grúa, una cinta, etc., está extrayendo o introduciendo el material en el buque. Dentro de esta actividad se incluye el trasvase de mercancías entre buques, de buque a camión o de un centro de acopio a un medio de transporte.
- j) CARGA FRACCIONADA:** También llamada carga general ya que no pertenece a las clasificaciones de graneles sólidos o líquidos.

- k) CONTENEDOR:** Es un recipiente de carga para el transporte aéreo, marítimo o fluvial, transporte terrestre y transporte multimodal. Las dimensiones del contenedor se encuentran normalizadas para facilitar su manipulación. Por extensión, se llama contenedor a un embalaje de grandes dimensiones utilizado para transportar objetos voluminosos o pesados: motores, maquinaria, pequeños vehículos, etc. Es conocido también por su nombre en inglés, container.
- l) INMISIÓN:** Concentración de contaminantes a nivel del suelo.
- m) MATERIAL PULVURULENTO O DISPERSABLE:** es la propiedad que causa la presencia de polvo suspendido en las inmediaciones del sitio donde se efectúa el manejo. Los materiales con alta dispersibilidad son, generalmente, aquellos con baja densidad a granel y reducido tamaño de partícula, lo que los hace comportarse más como gases o líquidos que como sólidos.
- n) MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES MCE:** son aquellas medidas o herramientas de gestión con enfoques estructurales y/u operacionales orientadas a la reducción o minimización de las emisiones potenciales de las fuentes.
- o) MEJORES TECNOLOGÍAS DISPONIBLES MTD:** La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestre la capacidad práctica de determinadas técnicas para evitar o reducir en general las emisiones y el impacto en el medio ambiente y la salud de las personas. Con tal objeto se deberán considerar una evaluación de impacto económico y social de su implementación, los costos y los beneficios, la utilización o producción de ellas en el país, y el acceso, en condiciones razonables, que el regulado pueda tener a las mismas.
- p) PILA ACTIVA:** Las pilas son activas cuando el mineral es continuamente removido o adicionado; se consideran inactivas cuando el mineral permanece sin removerse durante largos periodos.

ANEXO 4

Clasificación de graneles sólidos según su grado de dispersabilidad o pulvurulencia

Especificación		Clase Pulvurulencia
Tierra alumbre		S1
Baritina		S3
Barita (triturado)		S1
Bauxita	Porcelana calcinada	S1
	Calcinado	S1
	Bauxita en bruto	S5
Piedra pómez		S4
Bórax		S3
Las cenizas de fondo	Contenido de humedad 30%	S4
Marrón piedra		S2
Carburo de calcio		S1
Carburo de silicio		S5
Cemento	Contenido de humedad 0,3%	S1
	Clinker	S4
Coque	Coque de carbón	S4
	Coque de petróleo, gruesa	S4
	Coque de petróleo, fina	S2
	Coque de petróleo calcinado	S1
	Coque de petróleo aceitado / no aceitado	S4

(Continuación)

Especificación		Clase Pulvurulencia
Derivados y productos afines	Coque fluido	S1
	Harina de patata	S1
	Rodajas de patata	S3
	Pellets de alfalfa	S3
	Harina de almendra	S3
	Pellets de pulpa de manzana	S3
	Pellets de harina de hojas	S3
	Harina de trigo sarraceno	S1
	Residuos de cítricos	S3
	Dfg gránulos (gránulos, germen de maíz)	S3
	Pellets de pulpa de uva	S2
	Harina de cebada	S1
	Pellets de cebada	S3
	Cacahuates	S5
	Cacahuates gránulos	S3
	Torta de cacahuete	S3
	Quarbeanmeal pellets	S3
	Harina de avena	S1
	Gránulos de avena	S3
	Astillas de madera (contenido de humedad 44%)	S4
	Gránulos de semilla de algodón	S3
	Harina de semillas de algodón	S3
	Pellets de pulpa de café	S3
	Fibra de coco (contenido de humedad 81,1%)	S4

(Continuación)

Especificación		Clase Pulvurulencia
	Copra	S5
	Pellets de linaza	S3
	Chatarra de linaza	S3
	Los pellets de alfalfa	S3
	Macojapellets	S3
	Pellets de gluten de maíz	S3
	Harina de gluten de maíz	S3
	Harina de maíz	S3
	Bolitas de brotes de malta	S3
	Bolitas de mango	S3
	Chatarra de mango	S1
	Gránulos de yuca, dura	S3
	Mandioca	S3
	Gránulos de pienso compuesto	S3
	Harina de sorgo	S3
	Bolitas de malta germinales	S3
	Pellets de pulpa de aceituna	S3
	Chatarra de oliva	S3
	Almendra de palma	S5
	Pellets de palmiste	S3
	Copos de palmiste	S2
	Pastel de almendra de palma	S3
	Pellets de cáscara de maní	S3
	Pellets de pino-manzana	S3

(Continuación)

Especificación	Clase Pulvurulencia
Gránulos pollard	S3
Pellets de colza	S3
Harina de colza	S3
Gránulos de cáscara de arroz	S3
Salvado de arroz	S1
Harina de centeno	S1
Pellets de centeno	S3
Pellets de semillas de sésamo	S3
Torta de semillas de sésamo	S3
Pellets de semillas de sorgo	S3
Pellets de soja	S3
Patatas fritas de soja	S3
Harina de soja	S3
Harina de soja	S3
Pellets de pulpa de remolacha azucarera	S3
Gránulos de azúcar	S3
Bolitas de camote	S3
Tapiochips	S1
Gránulos de tapioca	S1
Gránulos de tapioca, dura	S3
Gránulos de tapioca, nativos	S1
Harina de trigo	S1
Pellets de trigo	S3
Pellets de té	S3
Tucumschroot	S3
Pellets de alimento para el ganado	S3

(Continuación)

Especificación		Clase Pulvurulencia
	Pellets de girasol	S3
	Harina de semillas de girasol	S3
Dolomita	Trozos	S5
	Terreno	S1
Mineral	Mineral de cromo	S4
	Mineral de hierro	
	Mineral de cobre	S4
	Mineral	S2
	Mineral de manganeso almacenamiento	S5
	Mineral de manganeso, descarga la carga	S4
Ferrocromo, trozos		S5
Ferro fósforo, trozos		S5
Ferro manganeso, trozos		S5
Ferrosilicio, trozos		S3
Fosfato	Contenido de humedad libre> 4% en peso	S4
	Contenido de humedad libre <1%	S1
Yeso		S3
	Grueso polvo de yeso (contenido de humedad 33,5%)	S2
Residuos de vidrio		S5
Maíz	Alforfón	S3
	Cebada (contenido de humedad 4,2%)	S3
	Sémola	S3
	Avena	S5
	Proyecciones de avena	S3

(Continuación)

Especificación		Clase Pulvurulencia
	Maíz	S3
	Malta	S3
	Centeno	S3
	Arroz	S5
	Semilla de sorgo	S3
	Trigo	S3
Granito		S2
Cal	Trozos	S5
	Polvo	S1
La piedra caliza (fracción fina, seca)		S3
Gránulos de arena-cal		S3
Arcilla	Bentonita, trozos	S3
	Bentonita, tierra	S1
Carbón	Briquetas de lignito	S4
	Carbón en polvo	S1
	Contenido de humedad del carbón de> 8%	S4
	Contenido de humedad del carbón de <8%	S2
	Hulla	S2
Fertilizante	Nitrato de sulfato de amonio	S3
	Diamfosfaat	S1
	Superfosfato doble, en polvo	S1
	Superfosfato doble, granos	S3
	Fertilizante de nitrato (contenido de humedad <0,2%)	S1
	Molienda de fertilizante de nitrato (contenido de humedad <0,2%)	S1

(Continuación)

Especificación		Clase Pulvurulencia
	Polvo de superfosfato triple de	S1
	Sulfato de amonio	S3
Legumbre	Frijoles	S3
	Chícharos	S3
	Guarsplit	S3
	Lentejas	S3
	Semillas de altramuz	S3
	Habas	S3
	La soja	S3
Semillas y productos relacionados	Alpiste	S5
	Colza	S3
	Linaza	S5
	Semilla de amapola	S5
	Semilla de mostaza	S5
	Semillas negro	S5
	Colza	S5
	Sésamo	S5
	Semilla de girasol	S5
Arena	Arena fina	S2
	Arena gruesa (incluyendo hormigón, mampostería y filtro de arena para la industria del hormigón y cemento)	S4
	Olivino arena	S4
	Rutielzand (ver titán)	

(Continuación)

Especificación	Clase Pulvurulencia
Reproducir la arena (arena gruesa, el contenido de humedad del 2,5%)	S4
Arena de plata (contenido de humedad del 2,0%)	S4
Arena de plata (contenido de humedad del 3,8%)	S5
Azufre Grueso	S4
Azufre Multa	S1
Cianita	S4
Viruta metálica contenido de humedad 0,6%	S1
Nefelina	S3
Cal viva	S1
Los gránulos de escombros	S5
Polvo de plástico	S1
Potasa	S3
Piedra pómez	S5
Hollín	S1
Chatarra, metales ferrosos con un grado significativo de la formación de óxido	S4
Silimanita	S5
Escoria	S4
Soda	S3
Talco polvo	S1
Urea	S3
Vermiculita trozos	S3
Vermiculita polvos	S1

(Continuación)

Especificación	Clase Pulvurulencia
Las cenizas volantes contenido de humedad <1%	S2
Espato flúor	S5
Grava el agregado grueso para hormigón y la industria de productos de concreto (incluyendo grava, lytag, piedra caliza, gránulos de lava)	S5
Escoria de alto horno	S4
Escoria (contenido de humedad 0,2%)	S2
Basura	..
El mineral de hierro	S4
La sal de cal	S5

