

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	10
1.1 CONTEXTO Y MOTIVACIÓN	10
1.2 OBJETIVOS	12
1.3 ALCANCES	13
CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES	14
2.1 CONTEXTO	14
2.1.1 Contaminación por material particulado.....	14
2.1.2 Fuentes de emisión minera de material particulado.....	17
2.1.3 Medidas de control y mitigación	18
2.1.4 Supresores de polvo	19
2.2 EL SUELO.....	21
2.2.1 El suelo y su definición.....	21
2.2.2 Constitución física del suelo.....	22
2.2.3 Constitución química del suelo	25
2.2.4 Cohesión en el suelo.....	25
2.2.5 Caminos Mineros.....	26
2.2.6 Balance Fuerza para una partícula del suelo	33
2.2.7 Contribución del fluido: Aire.....	33
2.3 MÉTODO DE ELEMENTOS DISCRETOS	35
2.4 CONCLUSIONES ANTECEDENTES	38
CAPITULO 3: METODOLOGÍA	40
3.1 ANÁLISIS DE FUENTES DE EMISIÓN DE POLVO EN FAENAS MINERAS	41
3.1.1 Emisiones de MP10: faenas mineras chilenas	41
3.1.2 Mapa con fuentes de emisión de polvo: planta minera	42
3.1.3 Caracterización del suelo: caso de estudio de camino minero	42
3.2 ENTREVISTAS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS MINEROS	43
3.3 ESTUDIO SOBRE CAMINOS MINEROS: INTERACCIÓN RUEDA-SUELO.....	43
3.3.1 Modelo Matemático	44
3.3.2 Simulaciones DEM.....	44
a) Diseño de las geometrías del sistema rueda-suelo.....	45
b) Parámetros del sistema placa-cajón.....	46
c) Implementación de modelo en RockyDEM®.....	48
d) Fases de simulación en el software RockyDEM®.....	52
3.4 PROGRAMA DE SUPRESIÓN DE POLVO.....	59
3.4.1 Experimentos de laboratorio	59
3.4.2 Diseño de programa de supresión de polvo	61
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 FUENTES DE EMISIÓN DE POLVO EN FAENAS MINERAS	62
4.1.1 Emisiones de MP10: faenas mineras chilenas	62
4.1.2 Mapa con fuentes de emisión de polvo: Planta Minera	64
4.1.3 Caracterización del suelo: caso de estudio de camino minero	66
4.2 ENTREVISTAS SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS MINEROS	71
4.2.4 Conclusiones Entrevistas.....	75
4.3 ESTUDIO CAMINOS MINEROS: INTERACCIÓN RUEDA-SUELO	76
4.3.1 Modelo Matemático	76
4.3.2 Simulaciones DEM.....	79
4.3 PROGRAMA DE SUPRESIÓN DE POLVO.....	93

4.3.1 Experimentos de Laboratorio	93
4.3.2 Diseño Conceptual.....	95
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES	99
SECCIÓN: FUENTES DE EMISIÓN DE POLVO EN FAENAS MINEROS.....	99
SECCIÓN: ENTREVISTAS A EXPERTOS EN CAMINOS MINEROS.....	99
SECCIÓN ESTUDIO CAMINOS: FENÓMENO RUEDA-SUELO.....	100
SECCIÓN: PROGRAMA DE SUPRESIÓN DE POLVO.....	100
CAPITULO 6: RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	108
ANEXO 1: ESTUDIO DE EMISIONES EN FAENAS MINERAS CHILENAS	108
ANEXO 2: CALIBRACIÓN DE RESISTENCIA A RODADURA (RO)	119
ANEXO 3: ESTIMACIÓN CARGA NORMAL TEÓRICA DE CAMIÓN	121
ANEXO 4: ESPESOR Y COMPACTACIÓN DEL MEDIO GRANULAR	123
ANEXO 5: ESCALAMIENTO PENETRACIÓN RUEDA	124
ANEXO 6: CADENAS DE ESFUERZOS SOBRE PENETRACIÓN EN VARIAS FASES.....	126
ANEXO 7: COMPLEMENTOS DE ANÁLISIS DE ARRASTRE PLACA.....	129
ANEXO 8: LABORATORIO DE EVAPORACIÓN.....	132

Indice de Tablas

TABLA 1. LÍMITE PERMISIBLE PONDERADO CONTAMINANTES D.S 594/99.....	16
TABLA 2. FUENTES DE EMISIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN FAENAS MINERAS.....	17
TABLA 3. SISTEMAS DE CONTROL DE POLVO EN HÚMEDO V/S SECO.....	18
TABLA 4. SUPRESORES DE POLVO CON SUS EFICIENCIAS Y PRINCIPALES DESVENTAJAS.....	21
TABLA 5. CLASIFICACIÓN MINERALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS (DIXON AND SCHULTZE, 2002).....	22
TABLA 6. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS.....	22
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO EN LOS FINOS DEL SUELO.....	23
TABLA 8. DIFERENCIAS ENTRE SUELOS ARENOSOS Y ARCILLOSOS.....	23
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE SUELO FINO Y GRUESO (HOLTZ Y KOVACS, 1981).....	24
TABLA 10. FASES DE DISEÑO DE CAMINO MINERO (THOMPSON Y VISSEN, 1999).....	27
TABLA 11. DESCRIPCIÓN DE CAPAS DE UN CAMINO MINERO (TANNANT Y REGENSBURG, 2001).....	28
TABLA 12. BANDAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUBBASE, BASE Y CARPETA (MOP, 2015).....	29
TABLA 13. DISTRIBUCIÓN DEL PESO DE UN CAMIÓN MINERO ENTRE SUS RUEDAS (KOMATSU, 2009).	31
TABLA 14. CONSTANTES DE FACTOR DE EMISIÓN DE LA USEPA PARA CAMINOS MINEROS.....	32
TABLA 15. VALOR POR DEFECTO PARA PARÁMETROS "S" Y "P" EN RELACIÓN EF.....	32
TABLA 16. FAENAS MINERAS CHILENAS Y DOCUMENTOS RESPECTIVOS ACERCA DE EMISIONES DE MP10.....	41
TABLA 17. PROFESIONALES Y TEMÁTICAS DE ENTREVISTAS SOBRE CAMINOS MINEROS.....	43
TABLA 18. DIMENSIONES DE CAJÓN Y PLACA PARA SIMULACIONES.....	45
TABLA 19. RAZÓN ENTRE CADA DIMENSIÓN DEL SISTEMA Y EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA.....	46
TABLA 20. COMPACTACIÓN Y ESPESORES UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE LAS SIMULACIONES.....	46
TABLA 21. PARÁMETROS DE LA PLACA DEL SISTEMA SIMULADO.....	46
TABLA 22. PARÁMETROS DE LAS PARTÍCULAS DEL MEDIO GRANULAR SIMULADO.....	47
TABLA 23. PARÁMETROS DE INTERACCIÓN PARTÍCULA-PARTÍCULA.....	47
TABLA 24. PARÁMETROS DE INTERACCIÓN PLACA-PARTÍCULAS.....	47
TABLA 25. PARÁMETROS DE ALIMENTACIÓN EN LLENADO DE CAJÓN.....	48
TABLA 26. ETAPAS PARA EL LLENADO DE CAJÓN EN SIMULACIONES.....	49
TABLA 27. PARÁMETROS DE LA RUEDA DE CAMIÓN MINERO SIMULADO.....	51
TABLA 28. FUERZA NORMAL DE PLACA CON RESPECTO A CARGA DE CAMIÓN.....	52
TABLA 29. RANGO DE VALORES TÍPICOS DE COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD DE ALGUNOS TIPOS DE SUELO.....	54
TABLA 30. FACTORES DE ESCALAMIENTO PARA DETERMINAR POTENCIAL DE EMISIÓN (PE).....	57
TABLA 31. PARÁMETROS DE ADHESIÓN PARA DISTINTOS NIVELES DE COHESIÓN.....	59
TABLA 32. PREPARACIÓN DE SOLUCIONES PARA HUMECTAR MUESTRAS DE EVAPORACIÓN.....	59
TABLA 33. EMISIONES DE POLVO NO CLASIFICADO EN MG/M ³ Y SU RELACIÓN CON NORMA D.S 594/99, PLANTA "EL SOLDADO".....	64
TABLA 34. EMISIONES DE SÍLICE EN MG/M ³ DE SECTORES PRINCIPALES DE PLANTA "EL SOLDADO" Y SU RELACIÓN CON NORMA D.S 594/99.	65
TABLA 35. DUREZA DE MOHS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES PRESENTES EN MUESTRA DE CAMINO MINERO.....	68
TABLA 36. ASOCIACIONES MINERALES DE MOSCOVITA Y ARCILLAS DE MUESTRA DE CAMINO MINERO.....	69
TABLA 37. ACTIVIDADES COMUNES DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENCIÓN DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS.....	72
TABLA 38. TESTIMONIOS DE PROFESIONALES SOBRE PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENCIÓN EN CAMINOS MINEROS.....	72
TABLA 39. ESTIMACIÓN COSTOS DE PROGRAMAS DE SUPRESIÓN DE POLVO.....	75
TABLA 40. DEFINICIÓN DE LAS FUERZAS COMPRENDIDAS EN EL PROBLEMA RUEDA-SUELO A ESTUDIAR.....	78
TABLA 41. DISTANCIA DE PENETRACIÓN SISTEMA ROCKYDEM® A DISTINTAS CARGAS DE CAMIÓN.....	79
TABLA 42. VALOR ESTIMADO DE COEFICIENTE DE COMPRESIÓN VOLUMÉTRICO.....	79
TABLA 43. CÁLCULO DE PENETRACIÓN DE CAMIÓN 300T EN CAMINO MINERO.....	80
TABLA 44. PENETRACIÓN RUEDA ESTIMADA PARA DISTINTAS CARGAS DE CAMIÓN.....	80
TABLA 45. DISTANCIA PENETRACIÓN ROCKYDEM® CON EFECTOS DE COHESIÓN.....	80
TABLA 46. COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD PARA CLASES DE SUELOS TÍPICOS DE CARPETA DE RODADO.....	82
TABLA 47. PROFUNDIDAD DE SUELO AFECTADO POR PENETRACIÓN RUEDA DE 300 T.....	82
TABLA 48. TIEMPO DE PENETRACIÓN DE SOLUCIÓN TÓPICA DE SUPRESIÓN DE POLVO EN LIMO COMPACTADO, ARENA LIMOSA Y GRAVA ARENA LIMOSA.....	82
TABLA 49. PROFUNDIDAD CUBIERTA POR SUPRESOR EN UN DÍA PARA TRES TIPOS DE SUELOS: LIMO COMPACTADO, ARENA LIMOSA Y GRAVA ARENA LIMOSA.....	83
TABLA 50. VELOCIDAD MEDIA TRASLACIONAL DE PARTÍCULAS EN FUNCIÓN DE V _{CAMIÓN} ENTRE 10 Y 50 KM/H.....	85

TABLA 51. VELOCIDADES V_x , PART Y V_y , PART DETERMINADAS CON LOS MODELOS V_{10} , V_{21} Y V_{32}	89
TABLA 52. DIFERENCIA RELATIVA ENTRE MODELOS DE VELOCIDAD C/R A V_{10} PARA V_x , PART Y V_y , PART, A 10, 30 Y 50 KM/H DE $V_{CAMIÓN}$	90
TABLA 53. PE EN FUNCIÓN DE CARGA CAMIÓN, CON PESO CAMIÓN ENTRE 100-400 T.....	91
TABLA 54. PE PARA DISTINTOS GRADOS DE ADHESIÓN DEL MEDIO GRANULAR, CON ADH ENTRE 0 Y 1000.....	92
TABLA 55. TASA DE EVAPORACIÓN DE DISTINTAS SOLUCIONES HUMECTANTES SOBRE MUESTRAS CON Y SIN CUARZO MOLIDO.....	94
TABLA 56. DIFERENCIA DE EVAPORACIÓN DE DISTINTAS SOLUCIONES HUMECTANTES SOBRE MUESTRAS CON Y SIN CUARZO MOLIDO.....	94
TABLA 57. CONTENIDO DE FINOS EN CAMINOS MINEROS DE FAENAS CHILENAS	108
TABLA 58. FACTOR DE EMISIÓN MP10 POR EXTRACCIÓN MATERIAL PARA FAENAS ESTUDIADAS.....	108
TABLA 59. FACTOR DE EMISIÓN MP10 EN PLANTA POR MINERAL PROCESADO EN FAENAS ESTUDIADAS	109
TABLA 60. DESCRIPCIÓN DE FAENAS MINERAS EXTRAÍDAS DEL SEA PARA ESTUDIOS DE MP10.....	110
TABLA 61. ESCALA DE COLORES PARA DEFINIR RELACIÓN ENTRE NIVELES DE EMISIÓN Y LPP.....	115
TABLA 62. REGISTRO DE EMISIÓN DE PARTICULADO DE TODOS LOS SITIOS EN PLANTA DE "EL SOLDADO"	116
TABLA 63. PARTICIPACIÓN MÁSCICA DE ESPECIES MINERALES EN ANÁLISIS QEMSCAM SOBRE MUESTRA DE CAMINO MINERO.....	117
TABLA 64. PARTICIPACIÓN MÁSCICA DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN ANÁLISIS QEMSCAM SOBRE MUESTRA DE CAMINO MINERO.....	117
TABLA 65. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA PARA MUESTRA "PELAMBRES"	118
TABLA 66. ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DE REPOSO EXPERIMENTAL.....	120
TABLA 67. ÁNGULO DE REPOSO ESTIMADO SOBRE $RR=0,5$	120
TABLA 68. ÁNGULO DE REPOSO ESTIMADO SOBRE $RR=0,53$	120
TABLA 69. PARÁMETROS BANDA CONTACTO TEÓRICA	121
TABLA 70. ÁREA DE PLACA (ZOOM BANDA DE CONTACTO).....	121
TABLA 71. VALORES EN RELACIÓN A LA CARGA DE UNA RUEDA MINERA DE CAMIÓN 300T	122
TABLA 72. FUERZA NORMAL EQUIVALENTE ENTRE RUEDA Y SUELO	122
TABLA 73. CÁLCULO VOLUMEN TOTAL OCUPADO POR MEDIO GRANULAR EN SISTEMA ROCKY	123
TABLA 74. ESTIMACIÓN COMPACTACIÓN EN SISTEMA CAJÓN ROCKY	123
TABLA 75. COMPACTACIÓN MEDIO GRANULAR EN SISTEMA PLACA-CAJÓN	124
TABLA 76. ESPESOR MEDIO GRANULAR Y CARPETA DE RODADO	124
TABLA 77. CÁLCULO DE ESFUERZO EJERCIDO POR CAMIÓN 300T SOBRE CAMINO MINERO.....	124
TABLA 78. ESFUERZO TRANSFERIDO DE RUEDA A SUELO PARA DISTINTAS CARGAS.....	125
TABLA 79. ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VOLUMÉTRICA PARA 300T CAMIÓN	125
TABLA 80. ESTIMACIÓN DE COEFICIENTE DE COMPRESIBILIDAD VOLUMÉTRICA GENERAL	125
TABLA 81. TASA DE EMISIÓN Y PE DEL SUELO EN EL RANGO $V_{CAMIÓN}$ DE 10-50 KM/H.....	129
TABLA 82. HUMEDAD PERDIDA DURANTE 70 MIN DE EVAPORACIÓN A 30°C SOBRE CUARZO MOLIDO CON DISTINTAS SOLUCIONES.....	132
TABLA 83. TASA DE EVAPORACIÓN PARA DISTINTAS MUESTRAS CON SOLUCIÓN HUMECTANTE S/SÓLIDO	133
TABLA 84. HUMEDAD PERDIDA DURANTE 70 MIN DE EVAPORACIÓN A 30°C SOBRE MUESTRA CON DISTINTAS SOLUCIONES PERO SIN SÓLIDO	134
TABLA 85. TASA DE EVAPORACIÓN PARA DISTINTAS MUESTRAS CON SOLUCIÓN HUMECTANTE S/SÓLIDO	135
TABLA 86. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE AEROSPRAY 70A BINDER.....	136
TABLA 87. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE CYFLOC C-573 FLOCCULANT.....	136

Indice de Figuras

FIGURA 1. ÁREA TRANSVERSAL TÍPICA DE CAMINO MINERO CON TRÁNSITO DE HASTA 320T (TANNANT Y REGENSBURG, 2001).....	27
FIGURA 2. ILUSTRACIÓN DE LA BANDA DE CONTACTO DE UNA RUEDA (THECONTACTPATCH, 2015).....	30
FIGURA 3. PARTÍCULAS GENERADAS ALREDEDOR DE RUEDA (CHEN ET AL, 1999).	33
FIGURA 4. ESQUEMA DE LOS DIFERENTES MODOS DE TRANSPORTE DE PARTÍCULAS DEL SUELO POR CAUSA DEL VIENTO (NICKLING Y MCKENNA,2009).	34
FIGURA 5. METODOLOGÍA GENERAL DEL TRABAJO	40
FIGURA 6. (A) RUEDA DE CAMIÓN MINERO INCLUYENDO DEFINICIÓN DE BANDA DE CONTACTO (AUTOPISTA.ES, 2015) Y (B) SU ABSTRACCIÓN EN EL SISTEMA PLACA-CAJÓN.	45
FIGURA 7. FASES DE LLENADO CAJÓN (A) RIGIDEZ BASE DE $1 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ (B) ADICIÓN DE TAPA, RIGIDEZ $1 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ (C) COMPACTACIÓN CON PISTÓN, RIGIDEZ $1 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ (D) IMPORTACIÓN DE PLACA, ASENTAMIENTO COMPLETO PARTÍCULAS.....	50
FIGURA 8. HENDIDURAS EN UNA RUEDA MINERA.....	51
FIGURA 9. POSICIÓN DE PLACA EN FASE DE ARRASTRE EN (A) TIEMPO INICIAL Y (B) TIEMPO FINAL.	55
FIGURA 10. REGIÓN CONSIDERADA EN ESTACIONARIO DEL ANÁLISIS POST-SIMULACIÓN DEL ARRASTRE DE PLACA.....	56
FIGURA 11. MUESTRAS HUMECTADAS CON SÓLIDO, PREVIO A EVAPORACIÓN A 30°C	60
FIGURA 12. MUESTRAS HUMECTADAS SIN SÓLIDO, PREVIO A EVAPORACIÓN A 30°C	61
FIGURA 13. CONTRIBUCIÓN DE FUENTES EN T/AÑO EN LA EMISIÓN TOTAL DE MP10 DE ALGUNAS FAENAS MINERAS ...	62
FIGURA 14. CONTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS FUENTES DE EMISIÓN AL TOTAL DE MP10 EN FAENAS MINERAS CHILENAS.....	63
FIGURA 15. RELACIÓN ENTRE EMISIONES DE POLVO NO CLASIFICADO Y SÍLICE CRISTALINA DE PLANTA EL SOLDADO	66
FIGURA 16. PARTICIPACIÓN MÁSCICA DE ESPECIES HALLADAS EN ANÁLISIS QEMSCAM SOBRE MUESTRA DE CAMINO MINERO.....	67
FIGURA 17. ASOCIACIONES MINERALES DE ESPECIES HALLADAS EN ANÁLISIS QEMSCAM SOBRE CAMINO MINERO SOBRE MUESTRA DE CAMINO MINERO.	68
FIGURA 18. DISEÑO DE CARPETA DE ACUERDO A LA MINERALOGÍA PARA CONTROLAR ABRASIÓN	70
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS, DE LA MUESTRA DE CAMINO DE MINERO “PELAMBRES”	70
FIGURA 20. COSTO OPERACIÓN CAMINOS EN BASE A RESISTENCIA RODADURA (GLEISNER ET AL, 2016)	74
FIGURA 21. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE SOBRE UNA PARTÍCULA DEL SUELO EN INTERACCIÓN CON RUEDA DE CAMIÓN MINERO.....	78
FIGURA 22. ZOOM PENETRACIÓN PLACA 300 T SOBRE MEDIO GRANULAR SECO, ADH 1, ADH 100 Y ADH 1000 (IZQ. A DERECHA, DE ARRIBA A ABAJO).	81
FIGURA 23. PE DE SUELO SECO, PARA $V_{\text{CAMIÓN}}$ ENTRE 10-50 KM/H	84
FIGURA 24. V_{PART} , X ADQUIRIDA POR PARTÍCULAS SUSPENDIDAS, A DISTINTO $V_{\text{CAMIÓN}}$	86
FIGURA 25. V_{PART} , Y ADQUIRIDA POR PARTÍCULAS SUSPENDIDAS, A DISTINTO $V_{\text{CAMIÓN}}$	86
FIGURA 26. HISTOGRAMA DE LA VELOCIDAD HORIZONTAL DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS POR PLACA A 50 KM/H.....	88
FIGURA 27. HISTOGRAMA DE LA VELOCIDAD VERTICAL DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS POR PLACA A 50 KM/H.....	88
FIGURA 28. V_x , PART DETERMINADA CON LOS MODELOS DE VELOCIDAD V_{10} , V_{21} Y V_{32} , PARA 10, 30 Y 50 KM/H DE $V_{\text{CAMIÓN}}$	89
FIGURA 29. V_y , PART DETERMINADA CON LOS MODELOS DE VELOCIDAD V_{10} , V_{21} Y V_{32} , PARA 10, 30 Y 50 KM/H DE $V_{\text{CAMIÓN}}$	90
FIGURA 30. PE EN FUNCIÓN DE LA CARGA TOTAL DEL CAMIÓN, CON PESO CAMIÓN ENTRE 100-400 T.....	92
FIGURA 31. PE EN FUNCIÓN DE LA COHESIÓN DEL MEDIO GRANULAR, CON ADH ENTRE 0 Y 1000.....	93
FIGURA 32. DISEÑO CONCEPTUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y MANTENCIÓN DE UN CAMINO MINERO	96
FIGURA 33. CONSTRUCCIÓN DE CAMINO MINERO EN BASE A LA VARIABLE DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE PARTÍCULA	97
FIGURA 34. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA ESPERANZA	111
FIGURA 35. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA LOS COLORADOS.....	111
FIGURA 36. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA ANTUCOYA.....	112
FIGURA 37. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA SIERRA GORDA	112
FIGURA 38. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA ZALDÍVAR.....	113
FIGURA 39. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA ÓXIDOS ENCUENTRO.....	113
FIGURA 40. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA FRANKE	114
FIGURA 41. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA SANTO DOMINGO	114

FIGURA 42. PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE PARTICULADO EN MINA EL ESPINO.....	115
FIGURA 43. IMÁGENES DE MINI-PILA DE FINO PARA MEDIR ÁNGULO DE CONTACTO EN ROCKYDEM®.....	119
FIGURA 44. CADENAS DE ESFUERZOS PARA MEDIO GRANULAR SECO A DISTINTAS PENETRACIONES	126
FIGURA 45. CADENAS DE ESFUERZOS MEDIO GRANULAR ADH1 A DISTINTAS PENETRACIONES	127
FIGURA 46. CADENAS DE ESFUERZOS MEDIO GRANULAR ADH100 A DISTINTAS PENETRACIONES	127
FIGURA 47. CADENAS DE ESFUERZO MEDIO GRANULAR ADH1000 A DISTINTAS PENETRACIONES.....	128
FIGURA 48. HISTOGRAMA CON LA VELOCIDAD HORIZONTAL DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS POR PLACA A 10 KM/H..	129
FIGURA 49. HISTOGRAMA CON LA VELOCIDAD VERTICAL DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS POR PLACA A 10 KM/H.....	130
FIGURA 50. HISTOGRAMA CON DISTRIBUCIÓN DE V_x , PART PARA PLACA A 30 KM/H.....	130
FIGURA 51. HISTOGRAMA CON DISTRIBUCIÓN DE V_y , PART PARA PLACA A 30 KM/H.....	131
FIGURA 52. MASA DE MUESTRAS DE CUARZO MOLIDO EN FUNCIÓN DE TIEMPO DE EVAPORACIÓN, A 30°C.....	133
FIGURA 53. MASA DE MUESTRAS SIN SÓLIDO EN FUNCIÓN DE TIEMPO DE EVAPORACIÓN, A 30°C.....	135