

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA

SECCIÓN DE POS GRADO



**EL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL EN EL CONTROL
DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN:

MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE

PRESENTADO POR:

GERMAN JORGE ENRIQUE RODRÍGUEZ VELARDE

LIMA – PERU

2010

SUMARIO

Se plantea un mecanismo de gestión ambiental para el control del drenaje ácido de roca DAR, de un yacimiento polimetálico, ubicado en la Sierra central, este sistema de gestión ambiental SGA, integra todo tipo de acciones para que la actividad minero metalúrgica opere de manera amigable con el entorno social y ambiental. La primera acción es contar con una declaración de principios o postulados ambientales dirigidos a evitar el desarrollo del DAR. Así por ejemplo utilizar la prevención como el mejor mecanismo del control del DAR, respeto a las normas ambientales, armonía con el entorno ambiental y social, y un sistema de mejoras continuas.

Los diferentes residuos minerales de las actividades minero metalúrgicas serán evaluadas y valorizadas, con el fin de darle un carácter selectivo en términos de mayor riesgo ambiental y de prioridad en su control, determinando de esta manera los aspectos ambientales más significativos AAS, los que conjugando con los postulados ambientales poder definir los Objetivos y Metas; además el reconocimiento de actividades críticas, controles operacionales, etc. en resumen, preparar el Plan de Gestión Ambiental PGA, para el control del DAR. A continuación se desarrolla como ejecutar el PGA con la organización necesaria para atender los objetivos devenidos de los AAS (cronogramas y recursos), implementar todas las medidas de control del DAR sean estas para atender de manera inmediata a los materiales en desarrollo del DAR, el empleo de tecnología para minimizar el desarrollo del DAR y acciones para prevenir el desarrollo del DAR. Todas estas tareas serán controladas y vigiladas tanto por los controles operacionales controles de gestión y supervisión tanto interna como externa. Las Auditorias no solo verificaran el desarrollo del PGA sino descubrirán las acciones para aun mejorar el control del DAR y proponer a la Alta Dirección para continuar mejorando el PGA para el DAR

Summary

This research proposes a mechanism of Environmental Management to control the Acid Mine Drainage (AMD), from a multi mineral deposit located in the Sierra Central. This Environmental Management System (EMS) integrates several actions to make sure that the mining activity is operating conscientiously taking care not only of the environment, but also the community. The first action is to have a clear declaration of environmental principles or postulates, made with the intention to avoid the development of the AMD. Some of them are: the use of prevention as the best tool to control the AMD, to respect the environmental reclamation, to be harmonic with the environment and the community and to have a system of continuous improvement.

The different types of mineral wastes from mining activities will be evaluated, in order to classify them in terms of environmental risk and priority in its management. In this sense, there will be determined the Significant Environmental Aspects (SEA), that joined to the environmental principles, will define objectives and goals, the recognition of critic activities, control in operations, etc; in summary the Environmental Management Plan (EMP) to control the AMD.

The EMP will be developed with the correct organization to attend the objectives derived from the SEA. Then, there will be implemented all the means to control the AMD, to control immediately the materials that develop the AMD, the use of technology to minimize the development of AMD and the actions to prevent the development of AMD. All this tasks will be watched by the operational controls, management controls, and the inside and outside supervision.

The audits will verify not only the performance of the EMP, but also will detect the actions to take in order to control the AMD and propose the Directors to continue improving the EMP.

INDICE

SUMARIO	1
INDICE	3
RELACIÓN DE FIGURAS	8
RELACIÓN DE CUADROS	10
ABREVIATURAS	12
CAPITULO I	14
MARCO GENERAL	14
1.1 Objetivos del proyecto.....	14
1.2 Situación actual (Planteamiento de hipótesis)	15
1.2.1 Aspectos generales del Drenaje Acido de Roca (DAR) en las actividades Minero- Metalúrgicas	15
1.2.2 Calidad de Drenaje ácido en los yacimientos polimetálicos peruanos.....	18
1.2.3 Centros mineros y potencial de drenaje ácido (ver Cuadro N° 1.1)	21
1.3 Planteamientos de tecnologías y sistemas de gestión ambiental para el manejo del DAR (Metodología de la Investigación)	24
1.3.1 Aspectos generales.....	24
1.3.2 Resumen del desarrollo de la metodología o aplicación del SGA (11).....	25
1.3.3 Sistema de Gestión Ambiental	25
1.4 Aspectos Conceptuales sobre Gestión Ambiental aplicado al Drenaje Acido de Roca.(DAR).....	28
1.4.1 Introducción.....	28
1.4.2 Planeamiento e implementación	29
1.5 Potencial de riesgo ambiental	33
1.6 Yacimiento minero considerado en el presente Estudio.	34
1.6.1 Unidad de producción ubicada en la sierra central.....	34
1.6.2 Características ambientales de la zona.....	35
1.6.3 Materiales a evaluarse.....	37
1.7 Aspectos normativos	37
1.7.1 Normas Generales	37
1.7.2 Marco Legal Aplicable	38
1.7.3 Bases técnicas de referencia.....	41
1.7.4 Límites máximos Permisibles	42
CAPITULO II	45
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y BASES TÉCNICAS DE REFERENCIA	45
2.1 Aspectos generales.	45
2.2 Criterios adoptados para el cálculo del potencial de drenaje ácido	46
2.2.1 Potencial Neto de Neutralización (PNN).....	46
2.2.2 Relación Potencial de Neutralización / Potencial de acidificación (PN/PA).	52
2.2.3 Cantidad de reactantes (PN+PA)	53
2.2.4 Consideraciones a tenerse siempre presente en la caracterización del DAR	54
2.3 Componentes principales para la generación del DAR (16).....	57
2.3.1 Características de los sulfuros metálicos susceptibles a disolverse (12).....	58

2.3.2	Soluciones con iones oxidantes.....	59
2.3.3	Reacciones electroquímicas con sulfuros metálicos: Proceso REDOX	60
2.3.4	Lixiviación bacteriana de sulfuros metálicos (12).....	62
2.3.5	Procesos de lixiviación química bacteriana (12).....	63
2.3.6	Cinética de reacción.....	66
2.4	Principales reacciones química en los Procesos de Drenaje Acido de Roca (3, 12, 16).....	68
2.4.1	Oxidación de la pirita.	68
2.4.2	Reacciones del Fe ²⁺ y Fe ³⁺	69
2.4.3	Requerimientos de oxígeno (16, 14, 7).....	70
2.5	Iones metálicos en las soluciones de drenaje ácido (16, 12).....	71
2.6	Efluentes mineros y carga metálica	73
2.6.1	Carga contaminante.	73
2.6.2	Diversificación de los efluentes.....	74
2.6.3	Contaminación al cuerpo receptor	75
2.7	Criterios adoptados para definir el riesgo ambiental (11).....	75
2.7.1	Severidad del contaminante	75
2.7.2	Cuerpo receptor.....	76
2.7.3	Fuente de transferencia.	76
2.8	Sistema de Gestión Ambiental. (11).....	77
2.9	Criterios adoptados en la definición de posibles áreas afectadas.....	79
2.10	Balace de masas e identificación de Aspectos ambientales y (AA).....	81
2.11	Aspectos Ambientales Significativos (AAS).....	82
2.11.1	Criterios asumidos para la selección de los AAS	82
2.11.2	Criterios de selección de los AAS para el SGA dentro del marco de las Mejoras continuas.....	83
2.11.3	Marco de acción con los AAS	84
2.12	Mediciones y control	84

CAPITULO III..... 86

INGENIERÍA PARA EL CONTROL DEL DAR..... 86

3.1	Aspectos Generales.	86
3.1.1	Introducción.....	86
3.1.2	Objetivos.....	87
3.1.3	Control del DAR: Enfoques. (7, 15, 5).....	88
3.2	Control de reacciones de oxidación (Control Primario)	88
3.2.1	Eliminación de sulfuros.....	89
3.2.2	Aditivos básicos o mezcla	89
3.2.3	Restricciones al acceso del oxígeno	90
3.2.4	Ubicación y colocación de materiales residuales de las operaciones mineras metalúrgicas.....	94
3.3	Control de migración (Control secundario) . (5)	94
3.3.1	Tipos de control de migración de contaminantes.....	96
3.4	Recolección y Tratamiento (Control Terciario). (7, 5).....	103
3.4.1	Recolección.....	105
3.4.2	Tratamiento de las aguas ácidas (9, 12).....	106
3.5	Algunos criterios para la selección de alternativas de tratamiento.	112
3.6	Uso de materiales del entorno como coberturas.	113
3.6.1	Aspectos generales.....	113
3.7	Uso de los lechos de cubierta para diferentes tipos de depósitos residuales.....	117
3.7.1	Echaderos de material estéril.	117
3.7.2	Botaderos de materiales estériles.	118
3.7.3	Depósitos de relaves antiguos.	119
3.7.4	Depósitos para lodos sedimentables o residuos peligrosos.....	120
3.8	Resumen sobre recomendaciones en el uso cubiertas de suelos.	121
3.9	Fuerzas disruptivas perpetuas: Consecuencias y Tecnologías de Control.	127

CAPITULO IV 130**SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL 130**

4.1	Introducción.....	130
4.2	Criterios para la identificación y evaluación de los Aspectos ambientales: Potencial de Drenaje Acido y Niveles de riesgo ambiental.....	133
4.3	Etapas y requisitos del SGA aplicada al DAR (11).....	134
4.3.1	Políticas Ambientales (requisito 1).....	134
4.3.2	Planeamiento.....	135
4.3.3	Implementación y Ejecución.....	148
4.3.4	Verificación y acciones correctivas.....	153
4.3.5	Revisión por la Dirección. (requisito 17).....	157
4.4	Conclusiones.....	157

CAPITULO V..... 159**CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES MINERO METALURGICOS:****ESTUDIO DEL POTENCIAL ACIDO-BASE 159**

5.1	Aspectos generales.....	159
5.2	ASPECTOS AMBIENTALES: Selección e identificación de los materiales con posibilidad de DAR.....	161
5.2.1	Materiales identificados.....	161
5.2.2	Muestreo.....	164
5.3	Características ambientales y del tipo de material interrelacionadas con el DAR.....	169
5.4	Pruebas de evaluación: estudio del potencial acido-base.....	172
5.4.1	Introducción.....	172
5.4.2	Evaluaciones para caracterizar la capacidad del material en la generación de DAR.....	174
5.4.3	Mediciones de pH en pasta.....	175
5.4.4	Solubilidad del material azufre como soluble.....	176
5.4.5	Potencial Acido (PA) (Determinaciones de S de la muestra).....	182
5.4.6	Cálculo del potencial de neutralización (PN).....	187
5.4.7	Potencial Neto de Neutralización (PNN).....	193
5.4.8	Relación PN/PA.....	195
5.4.9	Cantidad de reacción.....	200
5.4.10	Interpretación de resultados de pruebas estáticas.....	201
5.5	Resultados generales.....	205
5.6	Materiales a evaluarse como aspectos del Programa del SGA.....	208
5.7	Conclusiones y Recomendaciones.....	210

CAPITULO VI 215**APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE GESTION AMBIENTAL EN EL MANEJO****DEL DAR: CASO YACIMIENTO POLIMETALICO..... 215**

6.1	Marco General.....	215
6.2	Identificación de los Aspectos Ambientales más significativo.....	219
6.2.1	Aspectos ambientales identificados.....	219
6.3	Capacidad de desarrollo del drenaje ácido.....	220
6.3.1	Criterios de evaluación.....	220
6.3.2	Rangos para la evaluación.....	222
6.3.3	Evaluación de los diferentes materiales seleccionados.....	223
6.4	Principales resultados.....	226
6.5	Evaluación de los materiales según su riesgo ambiental.....	226
6.5.1	Definición de los criterios de evaluación.....	226

6.5.2	Definición de los rangos y niveles de ponderación.....	227
6.5.3	Evaluación del riesgo ambiental para los diferentes materiales seleccionados 227	
6.6	Evaluación de los materiales en su importancia como impacto ambiental.....	231
6.6.1	Identificación de los criterios utilizados.....	231
6.6.2	Establecimientos de los rangos.....	232
6.6.3	Evaluación de los diferentes substratos.....	233
6.7	Evaluación final para determinar los AAS (Cuadro N° 6-08).....	235
6.7.1	Resultados.....	238
6.8	Definición de Objetivos.....	241
6.8.1	AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo.....	241
6.8.2	AAS2 Depósito de relaves.....	242
6.8.3	AAS3· Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico.....	242
6.8.4	AAS4 Aguas ácidas de mina.....	242
6.9	Metas para el cumplimiento de objetivos.....	243
6.9.1	AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo.....	243
6.9.2	AAS2 Depósito de relaves.....	247
6.9.3	AAS3· Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico.....	250
6.9.4	AAS4 Aguas ácidas de mina.....	252

CAPITULO VII..... 255

PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL, IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS 255

7.1	Plan de Gestión Ambiental PGA.....	255
7.1.1	Política ambiental.....	255
7.1.2	Aspectos Ambientales Significativos AAS.....	255
7.1.3	Objetivos.....	256
7.1.4	Metas.....	257
7.1.5	Actividades Críticas, Controles Operacionales y Controles de Desempeño.....	259
7.2	Implementación del Programa de Gestión Ambiental aplicado al DAR según el SGA.....	261
7.3	Organización.....	262
7.4	Capacitaciones.....	263
7.4.1	Capacitación general.....	263
7.4.2	Capacitaciones especiales.....	263
7.5	Comunicaciones.....	265
7.6	Reportes y control de documentos.....	267
7.7	Control de documentos.....	269
7.7.1	Yacimiento minero.....	269
7.7.2	Depósitos de relaves.....	269
7.7.3	Desmonteras y botaderos.....	270
7.7.4	Agua de mina.....	270
7.8	Operaciones y características claves.....	271
7.9	Preparación y respuestas de emergencia.....	272
7.9.1	AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo.....	272
7.9.2	AAS2 Depósito de relaves.....	273
7.9.3	AAS3· Materiales que pueden provenir del yacimiento polimetálico.....	275
7.9.4	AAS4 Aguas ácidas de mina.....	276
7.10	Monitoreo y mediciones.....	276
7.10.1	AAS2 Depósito de relaves.....	276
7.10.2	AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo.....	277
7.10.3	AAS4 Aguas ácidas de mina.....	278
7.11	No Conformidad, Acción Correctiva, Acción Preventiva.....	279
7.11.1	Fallas en el control Operativo,.....	279
7.11.2	Fallas en el control de desempeño.....	280
7.11.3	Fallas en las operaciones.....	280

7.11.4	Incumplimiento de metas.....	282
7.12	Acción correctiva, acción preventiva	283
7.13	Registros.....	283
7.14	Sistema de Auditoría	283
7.14.1	Yacimiento mineral	284
7.14.2	Depósitos de relaves.....	284
7.14.3	Desmonteras y botaderos de marginales.	285
7.14.4	Aguas de mina	285
7.15	Información de resultados a la alta Dirección	285
7.15.1	Exploraciones en laderas del sector norte.....	286
7.15.2	Yacimiento Mineral	286
7.15.3	Depósitos de relaves.....	286
7.15.4	Desmonteras o botaderos de marginales.	286
7.15.5	Aguas de minas.....	287
CONCLUSIONES.....		288
1.	Sistema de gestión ambiental SGA.....	288
2.	Aspectos Ambientales: Materiales seleccionados.....	290
3.	Caracterización de los materiales en su capacidad de su potencial de generación ácida ...	295
4.	Selección de los materiales con alto potencial de desarrollo del DAR	296
5.	Aspectos ambientales significativos	300
6.	Definición de Objetivos	304
7.	Confeción del PGA	305
8.	Implementación	306
9.	Etapa de Verificación y acción de control	307
10.	Ampliación de las políticas ambientales.....	307
11.	Redefinición de objetivos	307
BIBLIOGRAFIA.....		308

RELACIÓN DE FIGURAS

	DESCRIPCIÓN	N° DE PAGINA
1 - 1	RESIDUOS INDUSTRIALES PRODUCTO DE LA ACTIVIDADES MINERAS-METALURGICAS	18
1 - 2	CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL YACIMIENTO MINERO	36
2 - 1	RELACIONES DEL LOG DE LAS CONCENTRACIONES DE DIFERENTES CATIONES METALICOS MONONUCLAERES CON RESPECTO AL pH DE LA SOLUCION	55
2 - 2	DOMINIO DE LAS DIFERENTES ESPECIES IONICAS PARA METALES DIVALENTES EN FUNCION DEL pH	57
2 - 3	OXIDACION DE LA PIRITA	60
2 - 4	MICROCORROSIÓN GALVÁNICA ENTRE CRISTALES DE PIRITA (CÁTODO) Y CHALCOPIRITA (ÁNODO)	61
2 - 5	PROCESO DELIXIVIACIÓN FÉRRICA BACTERIANA	63
2 - 6	INICIOS DEL PROCESO DEL DAR CON OXIDACIÓN DE PIRITA	64
2 - 7	PROCESOS DEL DAR CON OXIDACIÓN DE PIRITA A pH MENORES DE 4.5	65
3 - 1	ARREGLO SUPERFICIAL: CORTE Y RELLENO, COMPACTACION Y CONSTRUCCION DE CANALES	97
3 - 2	NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS ÁCIDAS DE EFLUENTES DE PRESA DE RELAVES	109
3 - 3	NEUTRALIZACIÓN DE DE AGUAS ÁCIDAS DE MINA Y SEPARACIÓN SÓLIDO LÍQUIDO	111
3 - 4	COBERTURAS PARA UNIDADES TÍPICAS DE DESECHOS DE MINA SEGÚN HUTCHISON Y ELLISON	118
3 - 5	ACTIVIDADES DE REMEDIACIÓN PARA DEPÓSITOS DE RELAVES ANTIGUOS	120
3 - 6	CONSTRUCCION DE POZAS PARA LODOS	122
3 - 7	LECHOS UTILIZADOS EN LAS TERRAZAS AURIFERAS DE MALARTIC	124
4 - 1	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL EN ELMARCO DE LAS MEJORAS CONTINUAS	132
4 - 2	EXPLORACION Y DESARROLLO DE MINA: DIAGRAMAS DE BLOQUES	136
4 - 3	EXPLOTACION DE MINAS : DIAGRAMAS DE BLOQUES	137
4 - 4	PLANTA METALURGICA 4000TM/D: BALANCE DE MASAS	138
4 - 5	VALORACIONES RELATIVAS DE LOS DIFERENTES	143

	PARAMETROS EVALUADOS	
ESQ 4-1	PLANEACION: PREPARACIÓN DE LOS OBJETIVOS EN RELACIÓN AL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA	146
ESQ 4-2	PLANEACIÓN: DESARROLLO DEL PROGRAMA DE GESTION AMBIENTAL	148
ESQ 4-3	IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	149
ESQ 4-4	VERIFICACIÓN Y ACCIÓN DE CONTROL	154
ESQ 4-5	ETAPA FINAL DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	158
5 - 1	CUERPO MINERALIZADO ANTES DE SU EXPLOTACIÓN	162
5 - 2	OPERACIONES DE REDUCCIÓN DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA	165
5 - 3	GRADO DE SOLUBILIDAD DE MUESTRAS SELECCIONADAS CORRESPONDIENTES A PASIVOS AMBIENTALES	181
5 - 4	PORCENTAJE DE OXIDACIÓN DE LOS MATERIALES SULFURADOS	184
5 - 5	POTENCIAL ÁCIDO DE MATERIALES MINERO METALURGICOS	189
5 - 6	VALORES DEL POTENCIAL DE NEUTRALIZACIÓN DE MATERIALES MINERO METALÚRGICOS	193
5 - 7	POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACION PARA MATERIALES MINERO METALÚRGICOS	197
5 - 8	RELACION POTENCIAL DE NEUTRALIZACION/POTENCIAL DE ACIDIFICACION (PN/PA)	202
5 - 9	LINEAS QUE REPRESENTANLA RELACION PN/PA	203
6 - 1	PLANEACIÓN: PREPARACION DE LOS OBJETIVOS EN RELACIÓN AL DRENAJE ÁCIDO DE ROCA	218
7 - 1	ORGANIGRAMA PARA ATENDER EL SGA APLICADA AL DAR	263
7 - 2	DEPÓSITOS ANTIGUOS DE RELAVES: ELEMENTOS DE CIERRE APLICANDO DIFERENTES CONTROLES	271

RELACIÓN DE CUADROS

	DESCRIPCIÓN	Nº DE PAGINA
1 - 1	EJEMPLOS DE CALIDAD DE DRENAJE ACIDO Y NEUTRO EN EL PERU	23
1 - 2	ECA CATEGORÍA 4 CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUATICO	43
1 - 3	NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION PARA PROYECTOS MINERO – METALURGICOS	44
2 - 1	RESUMEN DE MINERALES CONSUMIDORES DE ACIDO Y SUS CARACTERISTICAS DE NEUTRALIZACION	48
2 - 2	PROPIEDADES FISICO QUIMICAS Y SUS SOLUBILIDADES RELATIVAS	59
3 - 1	OBJETIVOS Y MEDIDAS DE CONTROL	87
3 - 2	RESUMEN DE MEDIDAS DE CONTROL DE LA GENERACIÓN DE ACIDO	89
3 - 3	MATERIALES ALTERNATIVOS PARA CUBIERTAS	117
3 - 4	GUIA DE DISEÑO PARA ELEMENTOS DE COBERTURAS	125
3 - 5	FUERZAS DISRUPTIVAS PERPETUAS: CONSECUENCIAS Y TECNOLOGIA DE CONTROL	128
4 - 1	VALORACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES	139
4 - 2	VALORACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES: DIQUE DE UNA PRESA DE RELAVES	142
4 - 3	VALORACION DEL RIESGO AMBIENTAL PARA EL DIQUE DE UNA PRESA DE RELAVES	145
5 - 1	MEDICIONES DE pH EN PASTA	178
5 - 2	CALCULO DELPORCENTAJE DESOLUBILIDAD PARA LAS DIFERENTES MUESTRAS SELCCIONADAS	180
5 - 3	RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE AZUFRE OXIDADO, EL PORCENTAJE DE PIRITA OXIDADA Y EL pH DE PASTA	183
5 - 4	POTENCIAL ÁCIDO: ORDENAMIENTO DESCENDENTE PARA DIFERENTES MUESTRAS	188
5 - 5	RESUMEN DE MATERIALES CONSUMIDORES DE ÁCIDO Y SUS CARACTERISTICAS DE NEUTRALIZACIÓN	190
5 - 6	VALORES DEL POTENCIAL DE NEUTRALIZACIÓN (PN) PARA DIFERENTES MUESTRAS SELECCIONADAS	192
5 - 7	INFORMACIÓN ORDENADA EN FORMA CRECIENTE PARA EL PARÁMETRO POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN PNN	196
5 - 8	INFORMACIÓN ORDENADA EN FORMA CRECIENTE	200

	PARA EL PARÁMETRO RELACIÓN PN/PA	
5 - 9	INFORMACION ORDENADA EN FORMA CRECIENTE PARA EL PARAMETRO POTENCIAL CANTIDAD DE REACCIÓN Q_r	204
5 - 10	INFORMACIÓN SELECCIONADA Y COLOREADA SEGÚN SU NIVEL DE PELIGROSIDAD	206
6 - 1	ETAPAS DEL SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL SGA	217
6 - 2	RANGOS DE VALORACIÓN PARA DIFERENTES CRITERIOS RELACIONADOS AL DESARROLLO DEL DAR	223
6 - 3	DETERMINACIONES DE LA CAPACIDAD DEL DESARROLLO DEL DAR PARA VARIAS MUESTRAS EVALUADAS	224
6 - 4	ESTABLECIMIENTOS DE RANGOS PARA POTENCIAL DAR, CUERPO RECEPTOR Y MEDIO DE TRANSPORTE	228
6 - 5	EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS EN SU RIESGO AMBIENTAL	229
6 - 6	ESTABLECIMIENTO DE LOS RANGOS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE IMPORTANCIA	233
6 - 7	EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES MATERIALES EN EL TEMA DE IMPORTANCIA	234
6 - 8	EVALUACIÓN DE LOS DIFERENTES SUBSTRATOS PARA DETERMINAR SU NIVEL DE AAS	237
6 - 9	MATRIZ DE SELECCIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL SGA PARA EL MANEJO DEL DAR	242
7 - 1	METAS SEGÚN OBJETIVOS DE CADA ASPECTO AMBIENTAL SIGNIFICATIVO	258
7 - 2	ACTIVIDADES CRITICAS, CONTROLES OPERACIONALES Y DE DESEMPEÑO SEGÚN LOS OBJETIVOS DE CADA AAS	260
7 - 3	OPERACIONES Y CARACTERISTICAS CLAVES SEGUN LOS OBJETIVOS DE CADA AAS	274
8 - 1	ETAPAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	289
8 - 2	CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS EXAMINADAS EN RUPOS ATENDIENDO A SU PROCEDENCIA	298
8 - 3	VALORES PROMEDIOS DE PNN, PN/PA, Q_r , APLICADA A LOS DIFERENTES GRUPOS DE MATERIALES DEFINIDOS POR SU PROCEDENCIA	299
8 - 4	MATRIZ DE SELECCIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL SGA PARA EL MANEJO DEL DAR	305

ABREVIATURAS

UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
FIGMM	Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica
MEM	Ministerio de Energía y Minas
DGAA	Dirección General de Asuntos Ambientales
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
PGA	Programa de Gestión Ambiental
PMA	Programa de manejo Ambiental
PAMA	Programa de Adecuación y Manejo Ambiental
DAR	Drenaje Ácido de Roca
PA	Potencial de Acidificación
PN	Potencial de Neutralización
PNN	Potencial Neto de Neutralización
Qr	Cantidad de reacción
Redox	Oxido Reducción
AA	Aspectos Ambientales
AAS	Aspectos Ambientales Significativos
DS	Decreto Supremo
RM	Resolución Ministerial
LMP	Límites Máximos Permisibles
TM	Toneladas Métricas
STS	Sólidos Totales Suspendidos
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
U S EPA	(United States Environmental Protection Agency) Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos

ASTM	American Society Testing Materials
TCLP	Synthetic Precipitation Leaching Procedure
ABA	Acid Base Account
S	Azufre
S ₂ Fe	Pirita
PM	Peso Molecular
GPS	Global Positioning System

CAPITULO I

MARCO GENERAL

1.1 Objetivos del proyecto

En los últimos 15 años se ha desarrollado esfuerzos dirigidos al control del Drenaje ácido de roca, estos esfuerzos se han dado de manera desigual; en algunos casos con adecuados programas , especialmente en la gran minería, en otros casos con programas incompletos vistos en los yacimientos de mediana y pequeña minería y una ausencia de programas en minería artesanal y pasivos ambientales abandonados. Para los dos últimos casos, los niveles de desarrollo pueden medirse de la siguiente manera:

Niveles de respuesta ante eventos de drenaje ácido, aun con técnicas insuficientes o con limitaciones al cumplimiento de normas ambientales. Los titulares en estos casos, ante la presión de las autoridades ambientales o el entorno social realizan programas de emergencia, básicamente para mitigar el efecto directo de las aguas ácidas sobre el medio ambiente. Sin embargo, mayores presiones de control ambiental obliga al titular a utilizar cada vez mejores técnicas de remediación e incluso se comienza aprender el principio de prevención como método que no solo da ventajas de control ambiental sino, además, ventajas económicas, es de esta manera que paulatinamente se va utilizando técnicas mucho más eficientes. El desarrollo sistemático para atender adecuadamente el manejo de las aguas ácidas nos lleva de alguna manera al empleo de un Sistema de gestión ambiental aplicado a estos problemas.

El objetivo central es utilizar el Sistema de Gestión Ambiental (SGA), en el marco de las Mejoras Continuas, como instrumento que contribuya en

el control y manejo del drenaje ácido de roca (DAR), expresado en minimizar el riesgo ambiental por la formación de aguas ácidas o soluciones altamente cargadas de iones metálicos.

El SGA aplicada al manejo del DAR será evaluado en un yacimiento polimetálico

1.2 Situación actual (Planteamiento de hipótesis)

1.2.1 Aspectos generales del Drenaje Acido de Roca (DAR) en las actividades Minero- Metalúrgicas

Un yacimiento minero o cuerpo mineralizado es la concentración natural de los elementos metálicos los cuales se ubican en sectores específicos de la corteza terrestre. Por lo general, los metales vienen combinados con azufre, conformando minerales sulfurosos. Su extracción y beneficio por actividades minero-metalúrgicas pueden crear disturbios ambientales en el lugar y en el entorno del cuerpo mineralizado, exponiendo los residuos minerales a merced de las acciones meteorológicas del medio, como tal los minerales sulfurados en contacto con el oxígeno y agua entran en procesos químicos y electroquímicos, originando soluciones ácidas con cationes metálicos, o los hidróxidos de estos como sólidos totales suspendidos, etc.(16,12)

Las actividades minero-metalúrgicas realizan operaciones que involucran en gran medida el quebrantamiento, traslado y concentración de especies mineralógicas con concentraciones importantes de sulfuros.

Los residuos (materiales-minerales) de las actividades minero-metalúrgicas contienen concentraciones importantes de minerales ganga (pirita, sílices, calizas, etc.), además, cantidades importantes de elementos metálicos como Pb, Cu, Zn, Ag, Cr, Mn, As, etc., que no se logró recuperar junto en los concentrados obtenidos en las plantas de beneficio.

El Drenaje Acido de Roca (DAR) es el término que se utiliza para caracterizar a las soluciones ácidas que emergen de las minas, o se forman a partir de los materiales sulfurados expuestos al ambiente por las actividades metalúrgicas o de los desechos de minerales, además, contienen en su seno importantes concentraciones de elementos metálicos y que, si entran en reacción con el ambiente, los productos de la reacción suelen ser peligrosos para el medio ambiente

Los materiales mineros sulfurados que son comunes en las actividades minero - metalúrgicas se pueden encontrar en varias situaciones, así se tiene.

- Si la actividad ya tiene varios años de operación, entonces es común encontrar desbroces en las laderas de los cerros donde se haya explorado o explotado,
- depósitos de relaves
- apilamiento de minerales, especialmente tipo marginal, en espera de un posible tratamiento;
- botaderos de material de mina como producto del desarrollo de la mina, cerca de las bocaminas. etc.

En la Figura N° 1.1 se muestra un esquema que ilustra sobre los tipos de productos y residuos que se generan por las actividades minero-metalúrgicas

La formación de ácido se debe a la oxidación del azufre contenido en los residuos minerales de las actividades mineras, especialmente en la pirita (S_2Fe); este ácido inicial se encargará luego de solubilizar la roca con sus minerales aportando a la solución cationes como el Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, Ag, Cr, etc.(12) Estos efluentes mineros fluyen desde sus instalaciones y se dirigen al curso natural de los ríos, contaminándolos.

El efecto del DAR, en los organismos vivientes es que el ácido reacciona directamente con los tejidos orgánicos, destruyendo a la sustancia orgánica, o contaminándola lentamente a través de una dosificación continua de metales pesados hasta llegar a la intoxicación de la célula (Pb, Cd, Ag, Cr, As, etc.).

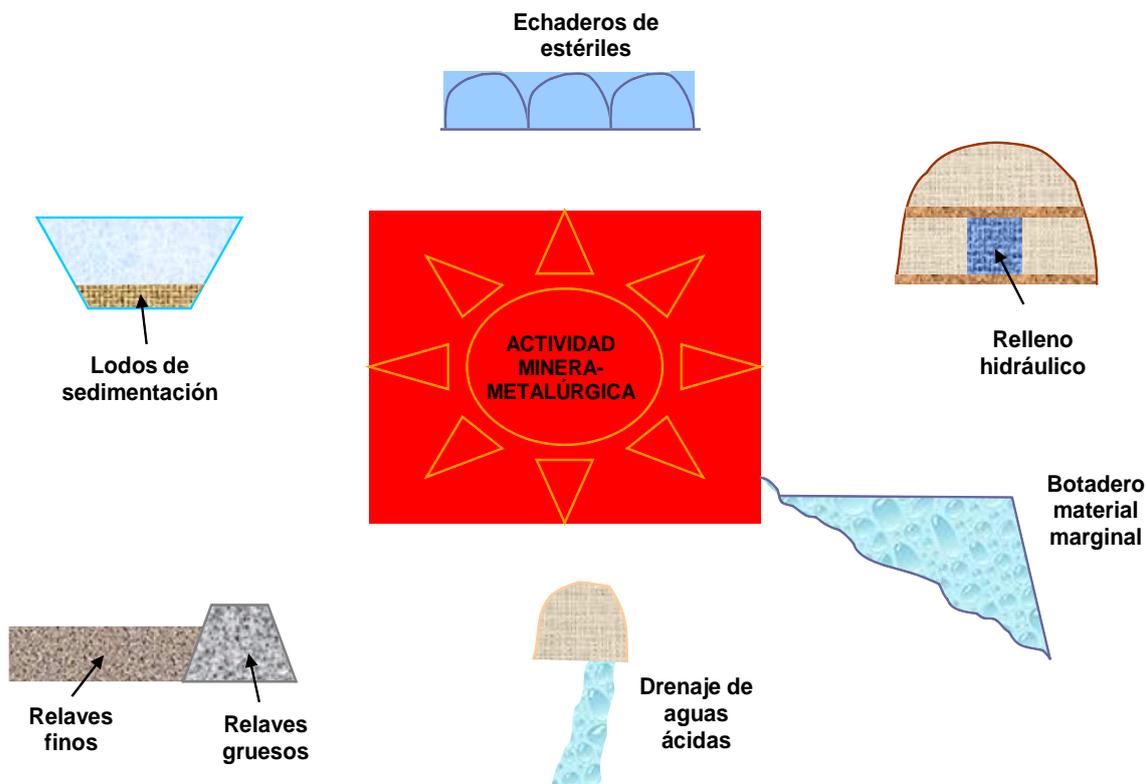
Cinéticas de reacción

Los elementos que intervienen en la cinética de reacción son básicamente la biocatalización bacteriana, la temperatura, el área específica de reacción y las condiciones fluodinámicas que intervienen tanto entre los reactantes y los productos

En toda actividad minera los elementos medulares que nos lleva a evaluar la potencialidad de la generación del drenaje ácido son, por un lado, *los tipos de minerales* especialmente los de alto contenido de azufre en forma de sulfuro y como estos están dispuestos en el medio o con que facilidad *el oxígeno alcanza a la superficie del sulfuro*; una vez que la especie sulfurada ha reaccionado (Procesos de oxidación-reducción REDOX), *los productos del proceso redox son disueltos por el agua y transportados* a otros lugares, dejando limpias las superficies de sulfuros para que continúe el proceso redox indefinidamente hasta el agotamiento del sulfuro

Como resumen el problema del DAR, tiene que ver, con el tipo de yacimiento, sus minerales, su grado de alteración, la forma como se encuentran o disponen las especies los minerales, el medio circundante en contacto con el mineral (agua, oxígeno), etc. definirán condiciones particulares del DAR, para cada unidad operativa minera, como tal, su particular forma de remediación.(12)

FIGURA N° 1.1 RESIDUOS INDUSTRIALES PRODUCTO DE LA ACTIVIDADES MINERAS-METALÚRGICAS



1.2.2 Calidad de Drenaje ácido en los yacimientos polimetálicos peruanos

La preocupación general de los titulares de las empresas mineras de un yacimiento polimetálico con formación de DAR lo constituye los niveles elevados de acidez, sulfato, niveles de hierro y cobre y la lixiviación de otros metales asociados con el mineral sulfuroso, tal como se muestra en el Cuadro N° 1.1. La preocupación ambiental con respecto al DAR, es el impacto producido por los productos de la reacción de los sulfuros, generando acidez y metales sean estos disueltos o en suspensión; ambos afectan la vida acuática del medio receptor y en la calidad del agua para beber.

1.2.2.1 Características de los materiales con presencia del DAR

Además del tipo de yacimiento, el DAR estará influenciado por el medio ambiente, especialmente por la presencia del aire, agua y otros factores; desde el punto de vista de los materiales que aportan el sulfuro para la formación del ácido se tiene los siguientes casos:

- Materiales en abandono por antiguas actividades mineras; éste es el caso de las áreas antiguas y abandonadas en los centros mineros actualmente operativos y también de las áreas mineras con muchos años de explotación como Cerro de Pasco, Huancavelica, Ayacucho, etc.
- Las filtraciones de un botadero de desmonte pirítico drenan aguas ácidas que alcanzan pH de 1.7 y elevadas concentraciones de metales; las concentraciones de sulfatos pueden alcanzar los 20,000 mg/l.
- Drenaje en una mina polimetálica con niveles significativos de piritita, las aguas son ácidas (pH = 2.5) y con buenas concentraciones de cationes metálicos.
- Drenaje de una mina con minerales de sulfuro de cobre, estas aguas son ricas en ácido (pH = 2) y con concentraciones importantes en Cu y Fe.
- Agua residual de una poza de relaves de un yacimiento polimetálico con metales base; por lo general el pH es neutro pero mantiene una alta conductividad por la presencia de concentraciones importantes de sulfato y calcio.(18)
- Filtración de una poza de contención de concentrados complejos; el pH es alcalino con importantes concentraciones de zinc.
- Aguas residuales de procesos de lixiviación férrica bacteriana; las aguas son bastante ácidas (pH = 1.8) con altos contenidos de hierro, potencial redox alto e importantes concentraciones de cobre
- Presencia de arsénico en las aguas ácidas. Una característica de los depósitos del norte y centro del Perú es la abundancia de la

Enargita (Cu_3AsS_4), un mineral relativamente raro. El DAR de estos yacimientos tiene, además, la presencia de arsénico en sus aguas.

- Materiales finos por remolienda; Otra característica en la minería peruana, que contribuye a la reactividad de los relaves, es que se opera con grado de molienda muy fino para poder obtener una adecuada recuperación por flotación de los minerales complejos.
- Zonas mineralizadas con ausencia de agua superficial; hay yacimientos que a pesar de tener un potencial alto de drenaje ácido debido al lugar donde se ubican (costa peruana) con un balance neto de agua negativa y la geología favorable de baja pendiente tienen pocas posibilidades de desarrollar el DAR

1.2.2.2 Acción del medio ambiente

De acuerdo al tipo de suelo y las características del medio ambiente es posible encontrar una variedad de comportamiento ácido/base de los diferentes suelos, como tal, éstos generaran diferentes tipos de calidad de agua. Así se tiene:

- En regiones húmedas los valores de pH aceptables son del orden de 5 a 6.5. La presencia del CO_2 del aire y el agua de la humedad acidifican permanentemente el medio, esta acidez contribuye a la formación del drenaje ácido y la solubilidad de cationes metálicos
- En regiones áridas los valores de pH se encuentran entre 7 y 8.
- En suelos con presencia de materia orgánica en descomposición los suelos son ácidos con pH de 4 y aun más bajos,
- Las aguas de mar tienen un pH de 8.1 a 8.3
- Las aguas de suelos de playas o lagos, de zonas desérticas tienen un pH de 8.5 a 9.
- Las aguas que atraviesan zonas mineralizadas son fundamentalmente ácidas si lo hacen por yacimientos sulfurados; el

pH puede alcanzar 3 y aun más bajo. Si las aguas atraviesan zonas de calizas en ausencia de aire, entonces las aguas son básicas.

1.2.3 Centros mineros y potencial de drenaje ácido (ver Cuadro N° 1.1)

Como se mencionó líneas arriba, la generación de drenaje ácido depende de la presencia de un sulfuro que sea fácil de oxidar; agua fresca, rica en oxígeno; temperatura de 20 a 30 °C; nutrientes minerales para el desarrollo de bacterias; material sulfurado finamente dividido; lluvias permanentes, etc.

De acuerdo a la posibilidad de generar agua ácida una clasificación de los centros mineros es la siguiente:

a) Yacimientos con potencial fuertemente ácidos:

- Cuerpos mineralizados ricos en sulfuros; piritas >30%
- Bajos contenidos de calizas
- PNN mayor de -600 Kg de CO₃Ca/TM de mineral
- Lluvias frecuentes. Promedio anual > 800-1200 mm

Ejemplos:

Cerro de Pasco, Iscaycruz, Julcani, Casapalca, Cobriza, Morococha,(16) Hualgayoc, Yauricicha (1)etc.

b) Yacimientos con drenaje ácido moderado

Características:

- PNN mayores de -100. Kg de CO₃Ca/TM de mineral
- Concentraciones de pirita entre 2 a 5 %.
- Sulfuros homogéneamente dispersados.
- Presencia moderada de lluvias

Los ejemplos más importantes son los pórfidos de cobre:

Cerro Verde (no presenta drenaje ácido activo por ser zona seca); para el caso de Cuajone y Toquepala la situación es mas activa. Existen otros yacimientos con PNN altos pero por estar ubicados en zonas secas no generan ácido hasta que no haya humedad, así tenemos: Cerro Lindo, Ocoña, Chapi, (12) etc.

c) Yacimientos con pocas posibilidades de drenaje ácido

Características:

- PNN = -1 a -20 Kg de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral
- Presencia de roca caliza
- Lluvias escasas

Ejemplos de Yacimientos:

Tintaya, Minas Raúl, Pativilca, Milpo, Atacocha, San Miguel, Huarón, Arcata, etc.

d) Yacimientos que no presentan drenaje ácido

Características :

- No sulfurados (los sulfuros se encuentran a nivel de impureza)
- PNN > 1 Kg de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral
- El material sólo contienen S a nivel de impureza
- Presencia de materiales ricos en álcalis (potencial de neutralización alto)

Ejemplos: Yacimientos aluviales de oro; Yacimientos no metálicos, etc.

CUADRO 1-1
EJEMPLOS DE CALIDAD DE DRENAJE ACIDO Y NEUTRO EN EL PERU

EFLUENTES	PARAMETROS en mg/l excepto el pH							CLASIFICACION
	pH	SO4=	Zn	Cu	Fe	As	Mn	
1. Filtración de un botadero de desmonte piritico en una mina operativa sulfurosa de metales base	1.7	38 400	3 220	375	13 390	100	819	Acido con elevadas concentraciones de metales
2. Drenaje de una mina operativa sulfurada de metales base con contenido de pirita.	1.35	24 800	1 255	79	8 362	70	145	pH bajo, sulfato y acido alto
3. Drenaje de una mina sulfurosa de metales base con niveles significativos de cobre	2.0	2 980	390	97	600	1	128	Acido con elevadas concentraciones de metales
4. Drenaje de una mina sulfurosa metales base con niveles de cobre significativos.	1.9	n.a	520	360	1 800	n.a	n.a	Acido con elevadas concentraciones de metales
5. Drenaje de una mina de metales base con bajo contenido de piritas	4.4	>1000	99	65	92	< 1	29	Acido con elevadas concentraciones de metales
6. Drenaje de una mina sulfurosa de metales base con bajo contenido de piritas y roca carbonacea	8.9	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	Alcalinos con concentraciones indeterminadas de metales
7. Drenaje de una mina sulfurosa de metales base	3.5	916	n.a	11	n.a	n.a	40	Acido con elevadas concentraciones de metal
8. Agua residual de una poza de relaves de una mina sulfurosa de metales base	7.0	598	1	< 0.1	< 0.1	n.a	16	pH neutro con sulfato
9. Agua residual de una poza de relaves de una mina sulfurosa de metales base.	9.0	502	0.2	< 0.1	2.6	n.a	2.3 5	pH neutro con sulfato.
10. Filtración de una poza de contencion de concentrados complejos.	10.0	470	47	22	93	0.5	11	pH neutro con sulfato y zinc
11. Filtración de una poza de contencion de concentrados complejos	12.0	283	208	6.3	33	0.01	0.9	pH neutro con Zinc

1.3 Planteamientos de tecnologías y sistemas de gestión ambiental para el manejo del DAR (Metodología de la Investigación)

1.3.1 Aspectos generales

Una revisión del problema del DAR visto anteriormente nos da como respuesta inmediata las acciones que será necesario implementar, las que se pueden sintetizar en los siguientes puntos sin ser estos limitativos.

- Un buen conocimiento de cómo se desarrolló el DAR en un yacimiento minero, esto no sólo involucra los aspectos teóricos de la formación del DAR, sino la ingeniería en su manejo. La resultante de una buena evaluación de las actividades mineras y metalúrgicas relacionadas al drenaje ácido se traduce en la determinación de los Aspectos Ambientales más Significativos (AAS), medidos como el Potencial de Generación Ácida y expresada en Kg de CO_3Ca /TM a producirse sea como un total o unidad de tiempo
- Marco normativo relacionado al DAR
- Desarrollo de un Sistema de gestión ambiental (SGA)
 - a. Un sistema de gestión ambiental en el manejo de los materiales con PNN negativo tiene una influencia directa en la minimización del potencial de generación de drenaje ácido.
 - b. Un sistema de gestión ambiental aplicado tanto al control del DAR como a cuerpos receptores tienen una influencia directa en los niveles de riesgo ambiental
- Material de investigación

El material de investigación consta de trabajos realizados en la UP el Porvenir de Milpo; en la cual se hizo una recolección de todo tipo de

muestras minerales en diferentes partes de la concesión minera y se desconocía su capacidad de generación acida

1.3.2 Resumen del desarrollo de la metodología o aplicación del SGA (11)

Se prevé las siguientes etapas importantes:

- Descripción de la unidad minera comprometida en la presente investigación
- Evaluación de los antecedentes de generación de drenaje ácido en cada área o sector o deposito de materiales minero-metalúrgicos residuales .
- Selección de los materiales a evaluar, de tal manera que estos representen posibles aspectos ambientales de la actividad minera metalúrgica
- Se mide el potencial de Generación ácida por cada unidad minera.
- Se mide el Potencial de riesgo ambiental
- Se determinan los Aspectos Ambientales Significativos para ser utilizados en el desarrollo del SGA

1.3.3 Sistema de Gestión Ambiental

1.3.3.1 Introducción

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) propuesto es el de las mejoras continuas (ISO 14000), comprende 5 etapas y en cada de una de ellas se identifican un conjunto de requisitos. El desarrollo de las etapas en forma ordenada configura un esquema helicoidal de las mejoras continuas.

La primera etapa es el planteamiento de las Políticas Ambientales (requisito 1), se continúa con la Planificación, luego la implementación y operación; una cuarta etapa está constituida por la verificación y acciones correctivas; la quinta y última etapa es la revisión por la Alta

Dirección, cuyos resultados van a incidir directamente en el ajuste, o modificación de la política ambiental, de tal manera de que se continúe con el sistema pero ahora en un plano superior siempre con el fin de alcanzar una mejora.

Es muy importante para que se dé, en forma objetiva, el desarrollo de un SGA que estén siempre presente y de manera activa todos los elementos que intervienen en el SGA (Organización, Planificación, Definición de responsabilidades, Recursos, Procedimientos, Prácticas operacionales reconocidas, etc. Así como los elementos de Ejecución y Supervisión (Desarrollar, Implementar, Controlar, Revisar, Cambiar, etc.): Todos estos elementos forman parte de los 17 requisitos del SGA identificados que están contenidos en las 5 etapas anteriormente mencionadas

Para efectos de la aplicación del SGA al drenaje ácido de roca se dará mayor importancia a los requisitos que están directamente involucrados con el DAR. Así por ejemplo: Incluir dentro de las políticas el requerimiento de controlar todo sulfuro que ha sido modificado de su situación natural; de la misma manera en la Etapa de Planificación y en sus diferentes requisitos, temas relacionadas a la : Determinación del Potencial de Drenaje ácido de roca, aplicada a los diferentes materiales que se esperan de las actividades minero- metalúrgicas (11). El tema eje estará en la parte relacionada a la determinación y evaluación de los Aspectos Ambientales y selección de los más significativos; a partir de aquí, se identifican los Objetivos y que están relacionados a los programas de prevención y mitigación del DAR

1.3.1.2 La importancia de un Plan General de Gestión Ambiental.

Un Plan de Gestión Ambiental en términos generales debe significar una alternativa donde las opciones económicas y ambientales de la Empresa se vean favorecidas.

La implementación de un Sistema de Gestión Ambiental para el manejo del DAR trae las siguientes ventajas.

- Integra las responsabilidades de la empresa con las de la comunidad, en busca de minimizar el impacto por el DAR beneficiándose el entorno ambiental
- Integra a todas las personas que trabajan en la Empresa porque los programas de gestión ambiental competen a todos
- Permite hacer caracterizaciones generales como caracterizar al yacimiento en su máxima capacidad de generación ácida en términos del total de contenido de sulfuro y por otro lado en cuerpos específicos, con soluciones particulares a desarrollar
- Las actividades programadas en el marco del plan de gestión ambiental forma parte de las actividades de la Empresa, como tal existen plazos, recursos y metas que alcanzar.
- Los sistemas de evaluación y de control permite diseñar estrategias para alcanzar mitigar un contaminante en el marco de mejoras continuas.
- La experiencia en la mitigación de problemas ambientales en el manejo del DAR, nos lleva cada vez al terreno de la prevención
- Los requerimientos de espacios libres y operaciones flexibles nos lleva a implementar planes de cierres y abandono aplicado a los materiales e instalaciones mineras metalúrgicas con potencial de generación ácida.
- Los planes de contingencia son atendidos en mejores condiciones si se tiene un programa preventivo contra contingencias.

La Empresa cada vez encontrará economías pues los programas preventivos reducirán fuertemente las actividades de mitigación generadas por los problemas del DAR en cualquiera de sus áreas o instalaciones actividades de la unidad productiva

1.4 Aspectos Conceptuales sobre Gestión Ambiental aplicado al Drenaje Acido de Roca.(DAR)

1.4.1 Introducción

La Gestión Ambiental en temas del drenaje ácido para las actividades mineras metalúrgicas no es más que la implementación de un conjunto de mecanismos considerados eventos programados de un sistema de gestión ambiental aplicados a las unidades mineras metalúrgicas con presencia de materiales con potencial de generación ácida.

Dentro de estos eventos programados encontramos los siguientes ítems de mayor importancia:

Acciones programáticas de la Empresa, aquí se evalúa sobre las política generales y específicas de la Empresa respecto a la protección del Medio ambiente. Organización y definición de responsabilidades en todos los rangos del organigrama. Definición de los planes y programas. Recursos disponibles, etc.

- Un sistema de Identificación y reconocimiento de los problemas del Drenaje Acido al medio ambiente, además incluye sistemas que permitan evaluar la magnitud del problema, inicialmente utilizando los parámetros básicos de intensidad y de cantidad; posteriormente utilizando otros parámetros complementarios como reversibilidad, importancia, severidad, durabilidad, posibilidad de ocurrencia, etc.
- Como parte de la Planificación, la definición de Objetivos y Metas en el manejo del drenaje ácido de roca. Los objetivos

deben detallar las políticas ambientales diseñadas y las metas, las acciones para controlar el DAR.

- Organización y Administración. Definición de los diferentes cuadros que tendrán a su cargo la implementación de los diferentes proyectos ambientales. Organización de la gestión ambiental, organización ante contingencias, organizaciones para atender planes comunales y otros.
- Con relación a la administración ambiental, ésta está referida a la logística; a los instrumentos de control; a los métodos de comunicación; a los sistemas de auditoría, etc.
- Programas de Implementación y desarrollo en concordancia con las reglamentaciones ambientales. Este punto incluye las evaluaciones preliminares, (EVAP). Los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA); Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y en general, los Programas de Gestión Ambiental (PGA).
- Contar con programas de tipo específico que permitan sobrellevar actividades no programadas, tales son los casos de situaciones de emergencia o planes de cierre y abandono de actividades que estén concluyendo.
- Actividades diseñadas a evaluar permanentemente la implementación de los diferentes programas ambientales
- Actividades de Control y Vigilancia incluyendo la participación de Auditorías internas sean estas planificadas e imprevistas.
- Evaluación periódica por la alta dirección comprometiéndose a establecer cambios en las políticas ambientales anteriormente diseñadas

1.4.2 Planeamiento e implementación

Como una de las partes del sistema de gestión ambiental aplicada al manejo del DAR es el Planeamiento, en esta etapa se indica el

procedimiento para desarrollar el sistema de gestión ambiental aplicado al DAR. Los puntos más importantes son los siguientes.

1. *Determinación de los aspectos ambientales más significativos*, este tema involucra la confección de varios arreglos de variables que intervienen en los problemas del DAR. El primer ordenamiento estaría dado por los posibles materiales que pueden generar drenaje ácido, así se tiene ;

En la actividad minera:

- Botaderos de materiales de mina o de baja ley
- Las aguas de mina
- Cuadros, galerías en el interior mina con material sulfurado expuesto al aire

En las actividades metalúrgicas

- Relaves o depósitos de relaves
- Material de mina no procesado por baja ley dispuestos temporalmente en el entorno de las instalaciones metalúrgicas

2. *Potencial de acidificación de cada elemento a investigarse.*

Se inicia con la determinación del potencial de acidificación del yacimiento; esta es una determinación global y se la puede medir con la data sobre el conocimientos de las reservas y de los programas de explotación minera. La investigación geológica no solo debe medir los elementos metálicos a beneficiar, sino además de la cantidad de azufre que acarrearía la extracción de esos minerales. El potencial de acidificación a extraerse y cuánto de ello queda en mina, de manera activa, cuanto sale a superficie, cuánto queda como botaderos, cuánto va a la planta concentradora, cuanto se dispone de manera temporal, etc.

En procesamiento de minerales, cuánto potencial de azufre va como concentrados, qué otra parte va a depósitos de relaves, qué

parte de ellos va a constituir los diques y otros y cuántos propiamente van a formar el depósito de relaves,

3. Requerimientos de oxígeno

Un tercer arreglo está relacionado a las facilidades de que el aire haga en contacto con la superficie del mineral, entre los más importantes se tiene:

- Dispersión de la especie mineral en la roca
- Granulometría de la roca
- Profundidades en el que se encuentra el material sulfurado
- Compactación e impermeabilización del mineral

4. Requerimientos de agua

Otro de los elementos que intervienen en el desarrollo del DAR es la presencia del agua, caracterizados en los siguientes puntos.

- Como elemento básico en las reacciones electroquímicas de descomposición de los sulfuros.
- Como sustancias disolventes de los residuos de reacción
- Como medio que transporta el oxígeno para las reacciones redox
- Como mecanismo principal para el transporte de los elementos contaminantes resultado de la descomposición de los sulfuros.
- Como elemento básico para el desarrollo de microorganismos biodegradables de sulfuros de metal.

5. Cinética de reacción

Finalmente se tiene elementos que tienen que ver con la cinética de reacción, entre los más importantes se tiene:

- Tipos de sulfuros, algunos reaccionan más rápidamente que otros.

- Tipo de solución lixivante, mejor si esta es acidificada y con alto potencial redox.
- Agitación del medio o movilidad de reactantes y productos.
- Temperatura, mejor si esta es alta
- Presencia de bacterias que requieren del Azufre como fuente de energía

Con todos estos elementos y otros que se discutirán posteriormente se determina cuál de los substratos representa el aspecto ambiental más significativo (AAS), sea por el potencial absoluto de DAR o por la velocidad en que éste se puede producir o por el mayor valor de riesgo que representa (11).

El segundo elemento a considerar es la Ingeniería a usarse para el control del DAR. Esta ingeniería deberá desarrollarse para cada caso específico, sea para mitigar inmediatamente o sea para prevenir, esto determinará los programas preventivos, los programas de mitigación y los programas de emergencia.

El tercer elemento es el control y la supervisión. En el control se tiene los diferentes sistemas de monitoreo, toma de muestras, etc. y en la supervisión el control periódico, las auditorías internas y las auditorías externas (sean éstos realizados por el ministerio o por una entidad especializada)

Otro elemento del SGA es desarrollar el marco legal como instrumento que nos permita medir el cumplimiento de los programas con las reglamentaciones ambientales y compromisos asumidos con la colectividad, especialmente del entorno del proyecto o que tenga influencia ambiental con los posibles impactos que puede generar el DAR.

Un requisito que es de mucha importancia en el Sistema de gestión ambiental es la capacitación. En la etapa de implementación deberá desarrollarse acciones de capacitación, tanto para los directamente involucrados en el manejo del DAR, así como de las personas que pueden ser directamente afectadas, con el fin de que éstos reconozcan los niveles de riesgos que genera el DAR en sus diferentes presentaciones.

Finalmente, todas estas acciones deberán traducirse en costos, deberá evaluarse el valor del impacto, en términos de que sólo a través de programas sostenidos el impacto se reduzca a cero; esto significa que el costo ambiental, puede medirse por las inversiones que se aplicaran al sistema de gestión ambiental más un plus relacionado a efectos no previstos

1.5 Potencial de riesgo ambiental

El potencial de riesgo ambiental será medido en términos de cuán severa puede ser la contaminación al medio receptor. Para evaluar el riesgo ambiental, se considerará, de manera cuantitativa, de cómo están presentes los elementos que intervienen en la severidad de la contaminación (11).

El primer elemento es la sustancia contaminante, el DAR, que se lo caracteriza en términos de cantidad, intensidad y permanencia; para nuestro caso específico estará relacionado a la presencia del drenaje ácido sea como acidez o por los contenidos de cationes metálicos contaminantes. El segundo elemento es el que recibe la contaminación y es medido por las afectaciones mas peligrosas, tal es el caso de la persona humana, la contaminación de las aguas, y la contaminación de la fauna y flora a causa del DAR. El tercer elemento que se evalúa en la severidad del riesgo ambiental es la forma como se une el contaminante con el cuerpo receptor; normalmente el principal medio de comunicación es el agua, y una segunda es el transporte

del propio receptor hacia la fuente contaminantes tal como lo hacen las personas y los animales.

1.6 Yacimiento minero considerado en el presente Estudio.

1.6.1 Unidad de producción ubicada en la sierra central.

Esta unidad productiva ya viene operando por más de 50 años, como tal se espera todas las situaciones de instalaciones y materiales que pueden generar DAR como tal, encontramos importantes residuos sólidos en calidad de pasivos ambientales (antiguos depósitos de relaves, botaderos, áreas antiguas de explotación, etc.)

El nivel de producción es del orden de los 3,000 TMD beneficiando minerales polimetálicos con leyes de metales del orden del 8 % (Zn, Pb, Cu, Ag), como tal, se espera el equivalente de un residuo del orden del 88% (2400TMD de relaves).

El yacimiento es de origen metasomático de contacto, entre la caliza Paria y el intrusivo. La intrusión originó una aureola de metamorfismo o skarn que fue mineralizada por galena con valores de plata y esfalerita con pirita, calcita y fluorita. Los cuerpos mineralizados a manera de bolsonadas pueden localizarse algunas veces mas cerca al intrusivo (son más generadoras de ácido por la ausencia de caliza en su entorno) o más cerca al skarn (la caliza metamórfica ayuda a neutralizar a los materiales que conforman la ganga de los cuerpos mineralizados). Ver Figura N° 1.2

El desarrollo de la mina requiere en forma diaria hacer cortes de 3300 TMD (300 TMD pasan a botaderos de marginales) y las 3000 TM adicionales para el desarrollo de la mina (galerías, cruces, rampas, chimeneas, etc.) estas actividades generan cantidades importantes de materiales que más adelante van a constituir botaderos, bases para pistas, diques de presas de relaves y otras.

Las actividades relacionadas a la exploración minera generan materiales residuales que tienen relevancia como posibles generadores de drenaje ácido y, por otro lado, se apertura nuevas superficies de roca con posibilidades de generar DAR

Además, las actividades mineras metalúrgicas generan desbroces, roturas y aperturas de nuevas superficies, etc. que también representan áreas probables para formar drenaje ácido.

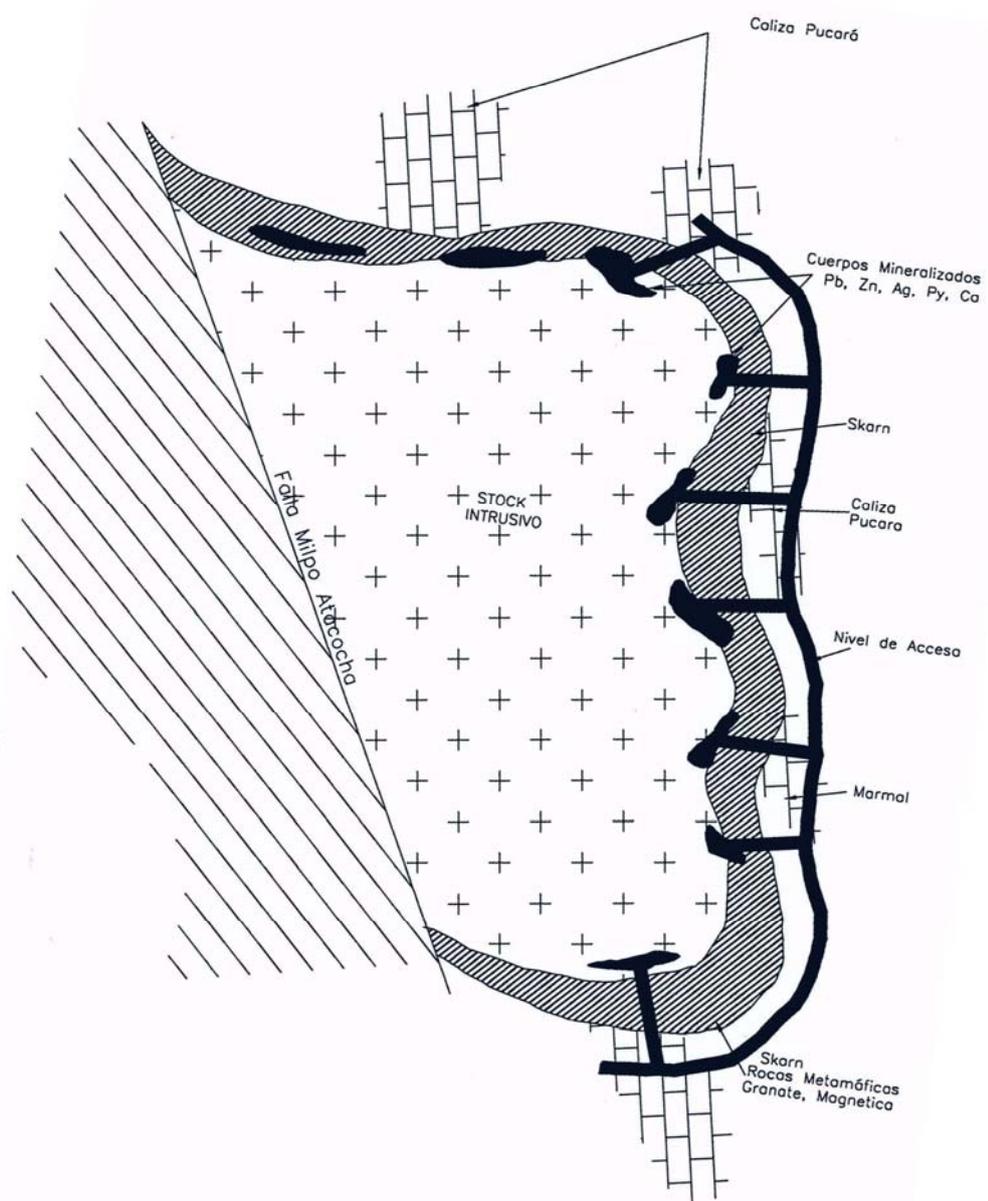
La recuperación de lodos y materiales sedimentables y su ubicación en lugares abiertos hacen que estos materiales se constituya en posible material generador de ácido.

1.6.2 Características ambientales de la zona

La zona presenta grandes fallas regionales y fallas locales que por lo general son transversales a las primeras.

El balance hídrico favorece la presencia de escorrentías superficiales en las temporadas de lluvias (Nov. a Abril) y ausencia de ellas durante el tiempo de estiaje. En general el nivel freático se encuentra por encima del yacimiento, como tal, se espera operaciones mineras subterráneas con presencia de agua.

Figura 1.2



1.6.3 Materiales a evaluarse

Esta unidad minera ha estado operando por muchos años, como tal se espera una variedad de pasivos ambientales o botaderos depósitos de materiales mineros, etc. que deberán evaluarse. Entre los materiales a evaluarse para verificar su capacidad de generación ácida se tiene los siguientes: (13)

- Cuerpos mineralizados o yacimientos
- Material residual superficial de exploraciones.
- Material estéril de desarrollos mineros (rellenos, bancos, botaderos)
- Material de relleno hidráulico (arenas gruesas de cicloneado)
- Material de relaves.
- Material de paredes de galerías, chimeneas, rampas, etc.
- Materiales mineros marginales.
- Relaves antiguos.
- Materiales particulados de chancadoras.
- Material particulado del desbroce de bancos, caminos, canales, etc.
- Material particulado de pozas de sedimentación y decantación.
- Material superficial de lechos de quebradas ubicadas en las cercanías del yacimiento.

1.7 Aspectos normativos

1.7.1 Normas Generales

Los instrumentos legales aplicables son:

- Constitución Política del Perú. 1993. Artículo 2 Inciso 22, relacionado al uso racional de los recursos naturales dentro del desarrollo sostenible.
- Decreto Legislativo N° 613 "Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales" (08.09.90).

- Decreto Legislativo N° 757 "Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada" (13.11.91)
- Nuevo código penal. Título VII Delitos contra el patrimonio cultural
- Ley General de Salud, Ley N° 26854 (Jul./1997)
- Ley del Concejo Nacional del Ambiente, CONAM Ley N° 26410 (Dic./1994)
- D.S. 016-93/EM Aprueban el Reglamento del Título Décimo Quinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, sobre el Medio Ambiente (1 de mayo de 1993). Modificado por D.S. 059-93-EM.
- D.S. 059-93-EM Modifican el Reglamento del Título Décimo Quinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería. (13 de diciembre de 1993).

1.7.2 Marco Legal Aplicable

El presente estudio se realiza bajo el siguiente marco legal aplicable:

- **D.S. 014-92-EM** Se aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería (4 de junio de 1992).
- **R.D. 115-91-EM/DGM** Para la aprobación del Proyecto de construcción e instalación de las Plantas de Beneficio, Refinación y Depósitos de Relaves; deberán presentarse las autorizaciones y estudios siguientes: "Vertimientos de Residuos Industriales" de Ministerio de Salud; "Uso de Agua" por el Ministerio de Agricultura; "Estudio de Impacto Ambiental" y autorización de la Dirección de Asuntos Ambientales del MEM previa evaluación Técnico Ambiental (23 de noviembre de 1991).
- **D.S. 016-93/EM Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgica**
Artículo 10 El PAMA de las actividades de exploración y/o explotación en las operaciones de minado subterráneo y a cielo abierto deben identificar y contemplar el tratamiento:

(punto 2) : Calidad y flujo de aguas superficiales y subterráneas por descarga de aguas contaminadas (nitratos, metales pesados, acidez, etc.)

Artículo 13: relacionado al tratamiento de las soluciones hidrometalúrgicas, especialmente relacionado a la contaminación de las aguas subterráneas o superficiales sean por derrames o infiltraciones de los residuos líquidos de los procesos hidrometalúrgicos.

Artículo 15 Relacionado a los proyectos o trabajos de revaloración de las áreas alteradas para el periodo de abandono, en el marco del Plan de Cierre.

Capítulo IV NORMAS AMBIENTALES:

Artículo 26 Cumplimiento de metas con relación a la calidad y flujo de las aguas superficiales y subterráneas, así como las descargas de las aguas utilizadas en operación.

Artículo 28 Cumplimiento de metas para las operaciones de lixiviación.

TITULO SEGUNDO : CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE

Artículo 31: Relacionado al tratamiento de los residuos líquidos

Artículo 32: Relacionado al manejo de las soluciones de proceso

Artículo 33: Relacionado al control de los niveles de contaminación de los cuerpos hídricos

Artículo 41: Relacionado al control de los minerales que pueden provocar contaminación en las aguas que se utilizan en las propias actividades mineras-metalúrgicas.

- **En el D.S. 059-93-EM** se establecen las Guías ambientales y manuales de monitoreos con el fin de que los titulares mineros tengan una herramienta útil para identificar los impactos ambientales que sus actividades generan.

- **En la RM N° 011-96/EM/VMM** se establecen los Límites Máximos Permisibles para los efluentes mineros controlando de esta manera la acidez y la presencia de metales pesados.
- **R.D N° 002-96-EM/DGAA.** Aprueban publicación de guías ambientales para Proyectos de Lixiviación en pilas, perforación y voladura en operaciones mineras cierre y abandona de minas (08/02/96)
- **DS N° 002-2008-MINAM.** Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua

Artículo 1°. Aprobación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Aprobar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, contenidos en el Anexo I del presente Decreto Supremo, con el objetivo de establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

- **DS N° 023-2009-MINAM.** Aprueban disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad ambiental (ECA) para agua

1.7.3 Bases técnicas de referencia

- Aprueban la publicación de las Guías de Monitoreo de Agua y Aire para la Actividad Minero-metalúrgica (2 de Marzo de 1994). R.S. 004-94-EM/DGAA
- Guía para la elaboración de PAMA, Ministerio de Energía y Minas del Perú.
- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua y Aire en la Industria Minera - Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales.
- Guía Ambiental de manejo de Agua en operaciones Minero-Metalúrgicas: MEM.
- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua - MEM.
- Guía para el Manejo de Relaves de Mina y Concentraciones - MEM.
- Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Acido de Mina - MEM.
- Guía Ambiental para el Cierre y Abandono de Minas - MEM.
- Aprueban Guías para elaborar Estudios de Impactos Ambiental y programas de Adecuación y Manejo Ambiental en el Subsector Minero (31 de marzo de 1995). R.D. 013-95-EM/DGAA
- Aprueban Protocolo de monitoreo de Efluentes Líquidos y emisiones atmosféricas R.M N° 026-2000-ITINCI/DM
- RM N ° 011-96/EM/VMM Aprueban los Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos Minero-Metalúrgicos (13 de enero de 1996). Esta norma es superada por el DS 010-2010 MINEN
- En el D.S. 059-93-EM se establecen las Guías ambientales y manuales de monitoreos con el fin de que los titulares mineros tengan una herramienta útil para identificar los impactos ambientales que sus actividades generan.

1.7.4 Límites máximos Permisibles

- D:S 044-98-PCM Aprueban el Reglamento Nacional para la aprobación de estándares de Calidad Ambiental y Límites Máximos Permisibles (6 de Noviembre de 1998)
- Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos producto de actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos y sus productos derivados. D.S. 008-EM-97
- Estándares de calidad de agua DS N° 002-2008-MINAM , Especialmente los anexos para las Categorías 3 Calidad de agua para bebidas de animales y riego de vegetales; así como de la Categoría 4 Conservación del ambiente acuático (Ver Cuadro N ° 1.2)
- R.D. 030-96EM/DGAA Aprueban los Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos producto de las actividades de explotación y comercialización de hidrocarburos líquidos y sus productos derivados (04/11/96)
- Niveles máximos Permisibles para efluentes líquidos R.D N° 030-96-EM/DGAA
- Límites Máximos Permisibles para Efluentes Mineros.(Ver Cuadro N ° 1.3) DS 010-2010 MINAM que supera la RM 011-96 EM/VMM Ver anexo 1 donde se indican los diferentes parámetros fijados como LMP.

Cuadro N° 1.2

CATEGORÍA 4: CONSERVACIÓN DEL AMBIENTE ACUÁTICO

PARÁMETROS	UNIDADES	LAGUNAS Y LAGOS	RÍOS		ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS	
			COSTA Y SIERRA	SELVA	ESTUARIOS	MARINOS
FÍSICOS Y QUÍMICOS						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amónico	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	unidad	6,5-8,5	6,5-8,5		6,8-8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤25	≤25 - 100	≤25 - 400	≤25-100	30,00
INORGÁNICOS						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	---
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,022	0,022	---
Clorofila A	mg/L	10	---	---	---	---
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fosfatos Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales	Ausente				Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	0,0001
Nitratos (N-NO3)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
INORGÁNICOS						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6		---	---
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L	---	---	---	---	0,14-0,7
Sulfuro de Hidrógeno (H2S indisoluble)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
MICROBIOLÓGICOS						
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100mL)	1 000	2 000		1 000	≤30
Coliformes Totales	(NMP/100mL)	2 000	3 000		2 000	

NOTA : Aquellos parámetros que no tienen valor asignado se debe reportar cuando se dispone de análisis

Dureza: Medir "dureza" del agua muestreada para contribuir en la interpretación de los datos (método/técnica recomendada: APHA-AWWA-WPCF 2340C)

Nitrógeno total: Equivalente a la suma del nitrógeno Kjeldahl total (Nitrógeno orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito (NO)

Amonio: Como NH3 no ionizado

NMP/100 mL: Número más probable de 100 mL

Ausente: No deben estar presentes a concentraciones que sean detectables por olor, que afectan a los organismos acuáticos comestibles, que puedan formar depósitos de sedimentos en las orillas o en el fondo, que puedan ser detectados como películas visibles en la superficie o que sean nocivos a los organismos acuáticos presentes.

CUADRO N ° 1.3

D.S N° 010-2010-MINAM Aprueban LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas

ANEXO 01

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio anual
pH		6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente(*)	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

(*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Límite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

CAPITULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y BASES TÉCNICAS DE REFERENCIA

2.1 Aspectos generales.

En el presente capítulo se presentan todos los elementos básicos o términos de referencia en que se basa el desarrollo de la presente tesis. Los tópicos que se toman en consideración son los criterios adoptados para verificar el Potencial de generación ácida; los criterios adoptados para verificar la calidad del drenaje de ácido a esperarse; la normatividad ambiental que nos ayude a determinar en qué límites debe manejarse el drenaje ácido de roca; los sistemas ingenieriles a adoptarse en las medidas de mitigación y prevención Otro grupo de criterios, como consecuencia del conocimiento del DAR, está referido a los criterios adoptados para verificar como los contaminantes alcanzan al cuerpo receptor; criterios para verificar los niveles de riesgo ambiental; etc.

Por otro lado, los requisitos que deben tomarse en consideración dentro del sistema de Gestión ambiental; Criterios para determinar los

Aspectos ambientales y de ellos los más significativos. Criterios para determinar objetivos y metas Selección de los controles de operación y de gestión y en general todas las etapas que involucre un ciclo de las mejoras continuas

2.2 Criterios adoptados para el cálculo del potencial de drenaje ácido

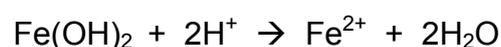
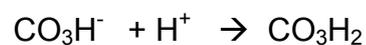
Se tomará en consideración un conjunto de parámetros que ayudará a caracterizar a un determinado tipo de material minero, en relación a su calidad de potencial de generación de drenaje de ácido y su nivel de peligrosidad

2.2.1 Potencial Neto de Neutralización (PNN)

Este es uno de los parámetros más importantes que identifica al material minero en su calidad de potencial de generación de ácido. El PNN es el resultado de un balance másico químico entre los materiales que consumen ácido (álcalis) denominados materiales con Potencial de Neutralización (PN) y los materiales que generan ácido Potencial de Acidificación (PA); entonces el Potencial Neto de Neutralización (PNN) está definido como la diferencia de todas las sustancias que tienen un comportamiento alcalino (PN) menos las sustancias que tienen un comportamiento ácido (PA). Todos ellos expresados en Kg de CO_3Ca /TM de mineral.

2.2.1.1 Potencial de Neutralización (PN): Sustancias con comportamiento básico (álcalis).

Cuando una sustancia consume iones protones, entonces este tiene un comportamiento básico así tenemos por ejemplo:



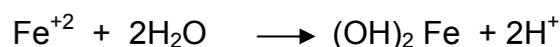
Las dos ecuaciones anteriores incluyen sustancias que tienen un comportamiento básico, como tal, ante una sustancia ácida se neutraliza. Básicamente en los procesos de Drenaje Ácido de Roca nos vamos a encontrar con dos tipos de sustancias con comportamiento básico, los carbonatos y los hidróxidos.

Para tener equivalencia de la capacidad de alcalinización de las diferentes sustancias con comportamiento básico se ha tomado como patrón de referencia el CO_3Ca cuyo peso molecular es de 100 gramos-Mol y cualquier otra sustancia tendrá un mismo efecto básico dependiendo de su peso Mol, así por ejemplo el FeOOH tiene un peso Mol de 89 gr como tal este peso es el equivalente al de los 100 gramos de carbonato de calcio, es decir que solo se necesita 89 de FeOOH para neutralizar una misma cantidad de ácido que la realizada por los 100 gr de CO_3Ca .

Los iones metálicos al formarse consumen ácido y lo hacen con relación a la estequiometría de la reacción y a sus pesos moleculares, así por ejemplo la formación de Fe^{2+} involucra que un mol del compuesto de Fe(II) consume un mol de SO_4H_2 o que 56 g/mol de Fe requieren de 98g/mol de SO_4H_2

Las reacciones con iones trivalentes requieren de una estequiometría que exige mayor consumo de ácido y por otro lado elementos con menor peso atómico porcentualmente requerirán mayor cantidad de ácido.

Los iones metálicos existentes en las soluciones pueden ser considerados como sustancias que aportan ácido. La formación de sus correspondientes hidróxidos generan ácido sulfúrico a la solución de acuerdo a la siguiente reacción



En el Cuadro N ° 2.1 Tenemos anotados las diferentes sustancias con comportamiento álcalis y la equivalencia en peso capaz de neutralizar una cantidad similar a la de 100 gr de carbonato de calcio

Para la determinación del potencial de neutralización (PN) se utiliza el Test ABA modificado según R.W. Lawrence. El método consiste básicamente en determinar la capacidad de neutralización de la muestra, midiendo el ácido consumido durante una digestión con exceso de ácido (HCl) por 18 horas a temperatura controlada (24 a 30°C)

CUADRO N° 2.1
RESUMEN DE MINERALES CONSUMIDORES DE ACIDO Y SUS
CARACTERISTICAS DE NEUTRALIZACION

MINERAL	COMPOSICION	POTENCIAL DE CONSUMO DE ACIDO 1	pH DE AMORTIGUACION
Carbonatos			
Calcita	CO ₃ Ca	100	
Aragonita	CO ₃ Ca	100	5.5 - 6.9
Dolomita	MgCa(CO ₃) ₂	92	
Siderita	FeCO ₃	116	5.1 - 6.0
Magnesita	MgCO ₃	84	
Rodocrosita	MnCO ₃	115	
Witerita	BaCO ₃	196	
Amkerita	CaFe(CO ₃) ₂	108	
Hidroxidos			
Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	74	5.1 - 6.0
Gibsita	Al(OH) ₃	26	4.3 - 3.7
Limonita/goetita	FeOOH	89	3.0 - 3.7
Manganita	MnOOH	88	
Brucita	Mg(OH) ₂	29	

Saskatchewan MPBC, 1991

Nota: El potencial de consumo de ácido se proporciona como el peso (g) del mineral requerido para tener el mismo efecto neutralizador que 100 gr de calcita. Por ejemplo, el peso mol de la Siderita es de 116 gramos, y el de la calcita 100 gramos. Por tanto, se requieren 116 gramos de siderita para suministrar la misma cantidad de alcalinidad que 100 g de calcita, a pesar de que ambos minerales no neutralizaran necesariamente aguas de pH bajo hasta el mismo nivel de pH (véase la columna de pH de amortiguación).

Para la determinación del potencial de neutralización (PN) se utiliza un procedimiento de titulación básico en una muestra previamente acidificada. Las etapas más importantes son las siguientes: (7)

- Se toma 20-30 g de mineral.
- Se adiciona 100 cc. de H₂O.
- Se mide el pH.
- Se adiciona una cantidad de ácido conocida.
- Se mantiene un pH=3.0 por un tiempo determinado. Si hay consumo de ácido, se adiciona el ácido para seguir manteniendo el pH constante.
- Si el pH se mantiene constante por unas 2-3 horas, se hace el cálculo del total de ácido adicionado.
- Luego se adiciona CO₃Na₂ hasta alcanzar el pH de 7.0.
- Se contabiliza la cantidad de carbonato utilizado y se expresa en Kg de CO₃Na₂/TM de mineral.

2.2.1.2 Cálculo del Potencial de Acidificación (PA) (Determinaciones de S de la muestra).

Se realiza sobre la base del análisis químico de la muestra por azufre total y azufre como sulfato. El contenido de azufre como sulfuro se calcula por diferencia.

El contenido de S de la muestra indica la acidez potencial total.

Para el caso de que el mayor componente sea la pirita esta podría calcularse de la siguiente manera:

$$\text{PM del } \text{S}_2 \text{ Fe} = 120$$

$$\text{PM del } \text{S}_2 = 64$$

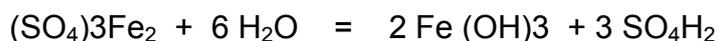
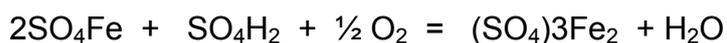
Cálculo de pirita:

$$\% (\text{S}_2\text{Fe}) = \% \text{ S} * 120/64 = \% \text{ S} * 1.875$$

Cálculo de % S:

$$\% \text{ S} = \% (\text{pirita}) * 64/120 = \% (\text{pirita}) * 0.533$$

Reacciones básicas de generación ácida:



TOTAL:



La oxidación de dos moles de pirita hasta llegar a la precipitación de todo el Fe^{3+} originan 4 moles de ácido sulfúrico. De estas relaciones estequiométricas se puede calcular el potencial ácido partiendo de que se conoce el % de azufre, el Potencial ácido (PA) puede ser fácilmente determinado conociendo el % de azufre (como sulfuro) por la siguiente relación

$$\text{PA (KgCO}_3\text{Ca/TM de mineral)} = \text{S(\%)} * 31.125$$

La relación anterior se basa de que todo el azufre de la pirita se ha convertido en ácido sulfúrico (98/32 relaciones de gramo/mol) y que el total de ácido es expresado en carbonato de calcio (100/98) finalmente

la conversión del % de S a kilos de carbonato genera un factor de 10 que multiplicado al 3.125 de las relaciones molares da el valor de 31.25. En resumen, a la muestra debe determinarse el contenido de S como sulfuro (en %). Se puede medir el S total y el S en sulfatos, la diferencia de ambos nos da el S de sulfuros.

Si la muestra fuera totalmente pirita (100% de S_2Fe), el máximo contenido de S sería:

$$S(\%) = \% (\text{pirita}) * 0.533$$

$$S(\%) = 100 * 0.533 = 53.3$$

Y el máximo potencial de acidificación en base a una pirita pura está dado por:

$$PA = 53.3 * 31.25$$

$$PA = 1667 \text{ kilos de } CO_3Ca/TM \text{ de mineral}$$

Entonces para una tonelada de pirita pura se requiere de 1.67 TM de carbonato de calcio anhidro (12)

2.2.1.3 Cálculo del Potencial Neto de Neutralización (PNN):

Se calcula por diferencia entre el potencial de neutralización (PN) y el potencial ácido (PA).

$$PNN = PN - PA$$

Para una roca sin presencia de álcalis y alta concentración de piritas se puede esperar valores de PNN máximos similares a - 1670 kilos de CO_3Ca/TM de mineral

De acuerdo a los valores de PA, PN y PNN se determina el potencial de drenaje ácido de roca:

Si $PN \gg PA$, entonces la muestra no es generadora de drenaje ácido.

Si $PN \ll PA$, entonces la muestra es altamente generadora de ácido.

Si $PN = PA$, el comportamiento es neutro pero con tendencia respecto al tiempo hacia la acidificación o alcalinización.

Si PNN es negativo entonces es generadora de ácido.

Si PNN es positivo entonces no es generadora de drenaje ácido.

Para los casos de que PN sea similar a PA o PNN igual a cero, entonces es importante realizar exámenes mineralógicos de la muestra (liberación de partículas minerales; grado de alteración, microfisuras, etc.).

La guía ambiental para el manejo del drenaje ácido establece como material de generación ácida si PNN es mayor de - 20 kilos de CO_3Ca/TM de mineral. (7, 15)

2.2.2 Relación Potencial de Neutralización / Potencial de acidificación (PN/PA).

Esta relación ayuda a interpretar el posible comportamiento de una muestra respecto a su potencial de generar ácido.

Si $PN/PA < 1$ el material va a generar drenaje ácido.

En términos prácticos cuando mayor sea la diferencia entre los valores de PA y PN mayor será la capacidad de generar drenaje ácido; esto es si PA es más grande y PN es más pequeño. Esta diferencia puede interpretarse rápidamente con la relación de PN/PA; valores menores de 1, indica que se trata de un material generador de ácido.

Los valores de PNN dan una idea de la cantidad de generación ácida.

La relación $PN/PA < 1$ indica el grado de intensidad en que se puede producir el DAR

Mientras el valor de PN/PA se aleja mas de uno o sea mucho mas pequeño el material tendrá una mayor intensidad a generar drenaje ácido (7, 15)

2.2.3 Cantidad de reactantes (PN+PA)

Este término también es importante tomar en consideración en la determinación del Potencial Neto de Neutralización y está relacionado a la cantidad de material que esta en juego en los procesos de acidificación neutralización. Es completamente diferente contar con materiales cuyos componentes de PA y PN constituyan un alto porcentaje de la roca (por encima del 85%) con otros que sólo ocupan cantidades inferiores al 15 del peso total de la roca a pesar de que estos dos materiales pueden dar un PNN negativo o una relación de PN/PA menor de 1. El caso máximo ocurre cuando la cantidad de pirita expresada en Kilos de carbonato sea la mitad del peso del material a investigarse y la otra mitad estaría constituyendo el peso del carbonato de calcio anhidro. La máxima cantidad de pirita es de 0.35 TM. Que representa el equivalente de 650Kilos de carbonato; como tal la neutralidad de estos 350 kilos de pirita se logrará con 650 kilos de carbonato anhidro (12)

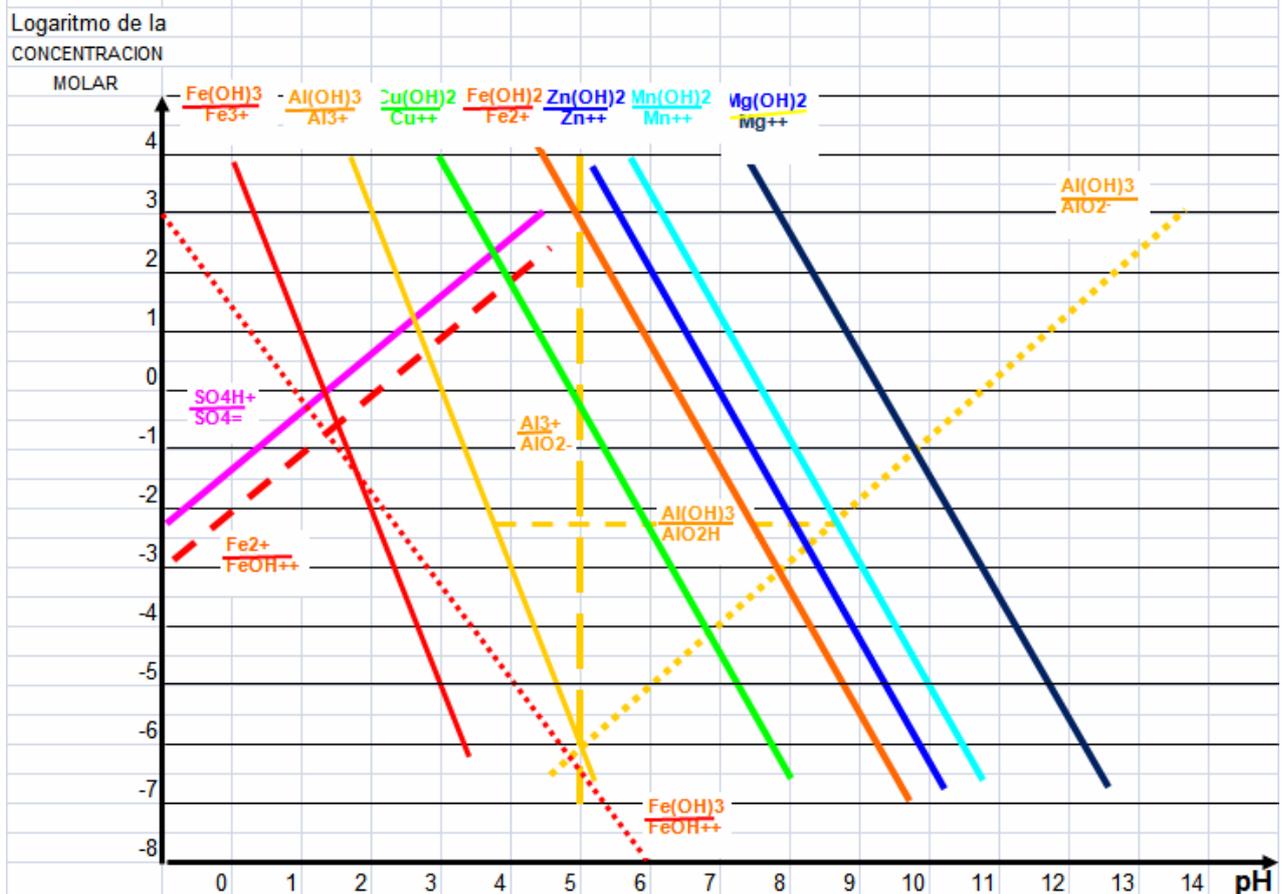
2.2.4 Consideraciones a tenerse siempre presente en la caracterización del DAR

Los siguientes puntos de vista nos interesa identificar para así tener una mejor comprensión del DAR:

- a). La generación de acidez por debajo de $\text{pH} = 5$ tiene varias implicancias en el medio ambiente, especialmente afecta la flora y fauna.
- b). El drenaje ácido de roca debe ser además interpretado como soluciones que contienen en solución elementos metálicos que son contaminantes. Las soluciones ácidas tienen una alta capacidad de solubilización de elementos metálicos y transporte de ellos a receptores acuáticos y biológicos contaminándolos. Mientras la solución sea más ácida, más será la concentración de los elementos metálicos admitidos en ella, primero se solubilizarán los cationes bivalentes (Mn^{+2} , Zn^{+2} , Fe^{+2} , etc.) luego los trivalentes (Fe^{+3} , Al^{+3}) a pH más bajos y para acideces mayores los tetravalentes, etc. Ver Fig. 2.1 (2)

La formación del drenaje ácido de roca está íntimamente relacionada al tiempo en que éste se puede formar. Si las condiciones son favorables para que las reacciones de descomposición de los minerales sulfurados se produzcan, entonces la presencia de ácido es inminente. Si las condiciones son pocos favorables, entonces la formación de drenaje ácido ocurrirá en mayor tiempo.

FIGURA N ° 2.1 RELACIONES DEL LOG DE LAS CONCENTRACIONES DE DIFERNTES CATIONES METÁLICOS MONONUCLEARES CON RESPECTO AL pH DE LA SOLUCION



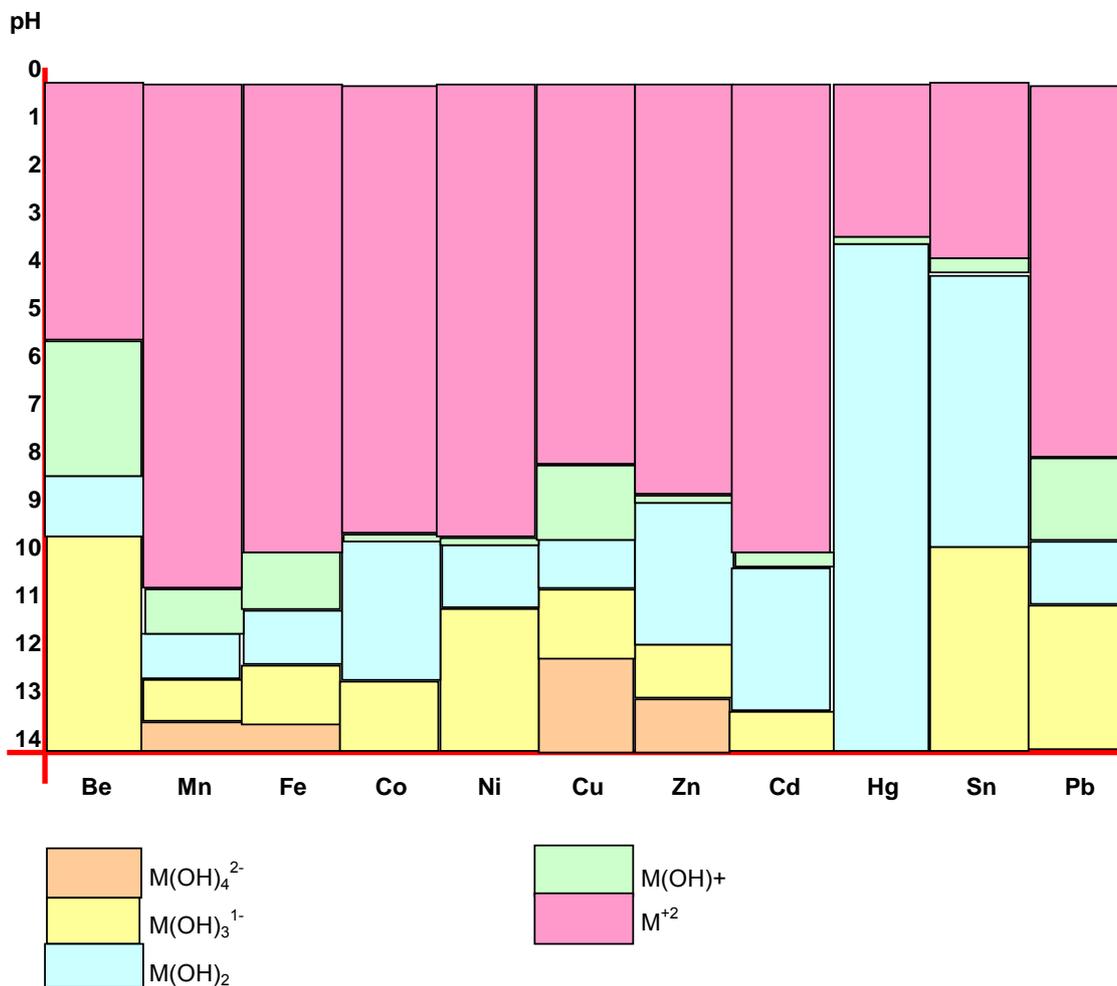
- c) El drenaje ácido de roca puede ser además interpretado como portadores de sustancias metálicas que se encuentran en fase sólida suspendida después de haber precipitado como hidróxidos y otros complejos a consecuencia de un cambio de pH. Son comunes los precipitados de arsénico, antimonio y plomo
- d) El drenaje ácido de roca puede ser caracterizado por los contenidos de sustancias que hacen de ácido y por los contenidos de sustancias que se comportan como álcalis, siendo los primeros en mayor proporción $PA \gg PN$
- e) La presencia de ácido o de álcalis en el material a investigarse debe expresarse ambas en las mismas unidades con el fin de que se pueda saber cuál de ellos se encuentra en mayor

cantidad. La unidad de medida adoptada son los kilos de carbonato de calcio anhidro existente en una TM

- f) Una magnitud que también es útil y de mucha importancia es la sumatoria de las concentraciones de ambos reactantes: sumatoria de todas las sustancias con comportamiento ácido más la sumatoria de todas las sustancias con comportamiento de álcalis. Para lograr esto se calcula la cantidad de reacción (r), la que representa la sumatoria de los mili equivalentes de todas las sustancias con comportamiento ácido más los miliequivalentes de todas las sustancias con comportamiento álcalis. Una manera sencilla es realizar la suma de los valores de PA y PN, pues ambos se encuentran en las mismas unidades y de esta manera se puede correlacionar el total de material que está en juego. Es importante señalar que, a pesar de que una solución puede tener cierta neutralidad desde el punto de vista de que el Potencial de acidificación sea similar al Potencial de Neutralización, sin embargo, aquel que tiene un alto valor en la cantidad de reacción es decir un alto valor en sus equivalentes químicos, este entonces será mucho más peligroso que el que mantiene soluciones diluidas.
- g) Otros parámetros indicadores de la magnitud de las reacciones ácido/base son las concentraciones de sulfato o una elevación de la conductividad del líquido al paso de la corriente eléctrica (mS/cm), altas concentraciones de sólidos totales solubles (STS), altas concentraciones de calcio (Sulfato de calcio), etc.
- h) El drenaje ácido de roca puede ser medido como aportante de determinados tipos de cationes metálicos de alta peligrosidad para los seres vivos y el medio biótico.

Figura 2.2

Dominio de las diferentes especies iónicas para metales divalentes en función del pH



2.3 Componentes principales para la generación del DAR (16)

Los componentes principales para la generación de ácido son:

- Minerales con contenidos de S como sulfuros.
- Un oxidante, especialmente el oxígeno de la atmósfera o de fuentes químicas.
- Agua o atmósfera húmeda.

Además, la velocidad y la magnitud de la generación de ácido son afectadas por los siguientes factores:

- Velocidad de difusión del oxígeno en el agua
- pH
- Bacterias (Thiobacillus Ferrooxidans)
- Velocidad de oxidación del Fe^2
- Temperatura
- Disposición de la especie mineralógica sulfurada a entrar en contacto con el oxígeno

2.3.1 Características de los sulfuros metálicos susceptibles a disolverse (12)

Las condiciones más importantes que definen la disolución de los sulfuros son:

- Naturaleza del sólido, relacionado a sus propiedades de semiconductor (**tipo p** –en su estructura de bandas deja hoyos positivos–); Los semiconductores no conducen la electricidad, porque en su distribución de capas electrónicas en su parte superficial estas están separadas (por eso no conducen) mientras más separadas mayor es la dificultad de conducir (zona prohibida)

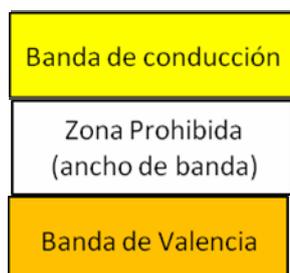
La banda de conducción mantiene enlaces libres que le permiten aceptar electrones y hacerse conductor

Es necesario que de la banda de Valencia salte el electrón hasta la banda de conducción para que se produzca la migración de electrones. Ese salto se da por que se incrementa de una energía (energía gap).la que de alguna manera representa el ancho de bando prohibida

La banda de conducción mantiene niveles energéticos libres que le permite aceptar electrones

En a Zona prohibida no hay niveles energéticos

La banda de Valencia los niveles energéticos están completos



- características especiales en el ancho de banda (energía GAP), la que debe ser mas angosto posible;
- Alto valor de su producto de solubilidad.

CUADRO N° 2.2

Propiedades fisicoquímicas y sus solubilidades relativas

SULURO METAL	ESTRUCTURA CRISTALINA	ENERGIA GAP (e.v)	TIPO DE CONDUCTIVIDAD	PRODUCTO DE SOLUBILIDAD (LOG)	BANDA DE CONDUCCION	BANDA DE VALENCIA	ACTIVIDAD BACTERIANA ml^{-1}
Zn S Esfalerita	Cubica (hexagonal)	3.67	sc: n	-24 (-22)	Zn 4s	S; 3p	$>10^8$
Cd S Greenockita	Cubica (hexagonal)	2.42	sc: n	-26	Cd 5s	S: 3p	$5*10^6$ $5*10^7$
Cu S Covelita	hexagonal	1.00	m:p	-35	Cu 4s	S: 3p (Cu: 3d)	$>10^8$
Cu ₂ S Calcosina	ortorrombica	1.1(1.8)	sc: p	-48	Cu 4s	S: 3p	$5*10^7$
Cu Fe S ₂ Chalcopyrita	tetragonal	0.53	sc: n (p)		Fe 3d	Fe: 3d (S:3p Cu: 3d)	$5*10^7$
Fe S Pirita	hexagonal	bajo	sc:p	-17	Fe 3d	Fe: 3d (S: 3p)	$>10^8$
Fe S ₂ Marcasita	cubica	0.9	sc:n,p		Fe 3d	Fe: 3d (S: 2p)	$5*10^7$
Pb S Galena	cubica	0.37	sc: n,p	-27	Pb 6p	S: 3p	$5*10^7$
Ag ₂ S Argentita	monoclinico	1.0	sc:n	-49	Ag 5s	S: 3p (Ag: 4d)	$<<10^5$
Hg S Cinabrio	trigonal	2.0	sc:n	-53	Hg 6s	S: 3p	$<<10^5$
Mn S Alabandita	cubico	2.8	sc:	-13 verde -10 rosa	Mn 3d	S: 3p	$>10^6$
Ni S Millerita	hexagonal	0.0	m:	-19 (a) -24 (b)	Ni: 3d	S: 3p	$5*10^2$

Fuente: H Tributsch and J.C. Bennett

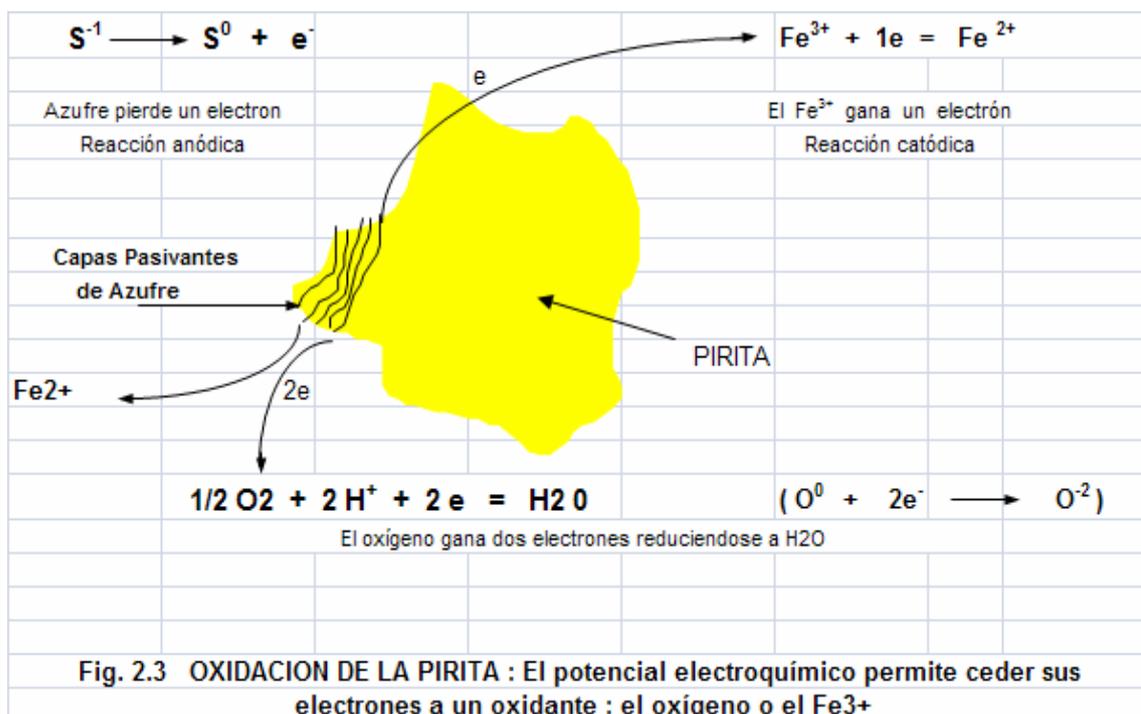
2.3.2 Soluciones con iones oxidantes

Las soluciones líquidas que están en contacto con el mineral, deben contener elementos con alto potencial electroquímico capaz de ser un aceptor de electrones, de esta manera el sulfuro pueda fácilmente entrar en un proceso Redox.

De acuerdo a lo anterior el sulfuro metálico se descompone por el salto de electrones de la superficie del sulfuro hacia el oxidante o aceptor de electrones la pérdida de electrones en el sulfuro significa la presencia de enlaces rotos y la presencia de enlaces rotos son los elementos metálicos en estado catiónico; como tal se requiere de un medio líquido que contenga elementos con un potencial electroquímico capaz de aceptar electrones que complete la reacción óxido-reducción y a su vez que el

líquido tenga la capacidad de disolver los cationes y aniones producto de la oxidación del sulfuro metálico. En los procesos de disolución de sulfuros de metal, el oxígeno y el ion férrico son excelentes aceptores de electrones (son oxidantes de los sulfuros).

Las Figuras 2.3, 2.4 y 2.5 muestran esquemas representativos de procesos electroquímicos que ocurren con los sulfuros.(4, 10,16)



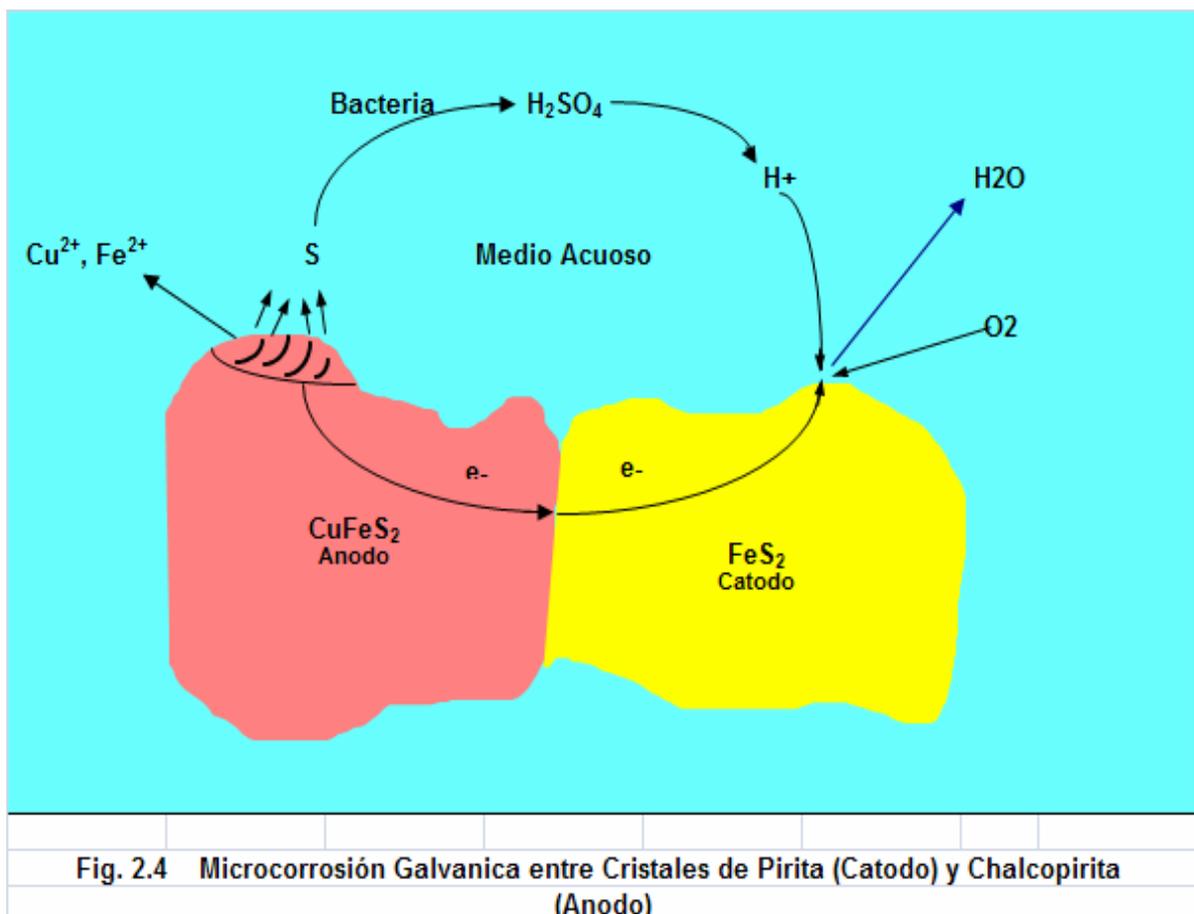
2.3.3 Reacciones electroquímicas con sulfuros metálicos: Proceso REDOX

Los procesos de disolución de los sulfuros son del tipo electroquímico, con intercambio de electrones, sin utilizar una fuente externa; a estas reacciones se les denomina procesos REDOX (reducción-oxidación). Para que ocurra un proceso Redox debe existir un par de sustancias y que entre ellas exista el potencial suficiente para la transferencia de electrones.

Si el sistema es Heterogéneo (mineral-líquido) se habla del potencial de electrodo y si el sistema es homogéneo (líquido-líquido), estamos ante el

potencial electroquímico. Cuando se produce la reacción Redox, la sustancia que dona electrones se oxida ($1/2$ celda electrolítica anódica) y la que recibe, se reduce ($1/2$ celda electrolítica catódica).

Cuando el ion Fe^{3+} se reduce a Fe^{2+} requiere de un electrón que se lo gane del sulfuro, como tal, éste se va disolviendo. Este mismo modelo sirve para el oxígeno, que requiere de dos electrones reduciéndose, los dos electrones tomados por el oxígeno los gana el sulfuro que se oxida. La reducción del oxígeno queda representada con formación de agua al unirse con un ion protón. ($\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2\text{O}$): reacción catódica.



2.3.4 Lixiviación bacteriana de sulfuros metálicos (12)

Por lo general, se reconoce que ciertas bacterias pueden acelerar la velocidad de oxidación de los sulfuros metálicos, incrementando con ello la velocidad de generación de ácido. (Investigaciones de A. Torma con partículas de chalcopirita de 0.4um utilizando bacterias alcanzaron una cinética de 1500 mg/l/hora)

La bacteria *Thiobacillus Ferrooxidans* es capaz de oxidar compuestos de azufre reducidos, así como oxidar el hierro ferroso a férrico; este último luego puede actuar como oxidante. Otras bacterias conocidas que participan en estos procesos o son acelerantes de la oxidación de los minerales sulfurados son el *Thiobacillus Thiooxidans* y el *Sulfolobus*.

La velocidad a la cual ocurre la oxidación bacteriana depende de los siguientes parámetros:

- temperatura
- pH
- disponibilidad de oxígeno
- disponibilidad de dióxido de carbono (fuente de carbono para la reproducción de las células)
- nutrientes (N,P)
- área superficial del mineral sulfurado expuesto

Figura 2.6 Inicio de los procesos del DAR con una oxidación de la Pirita

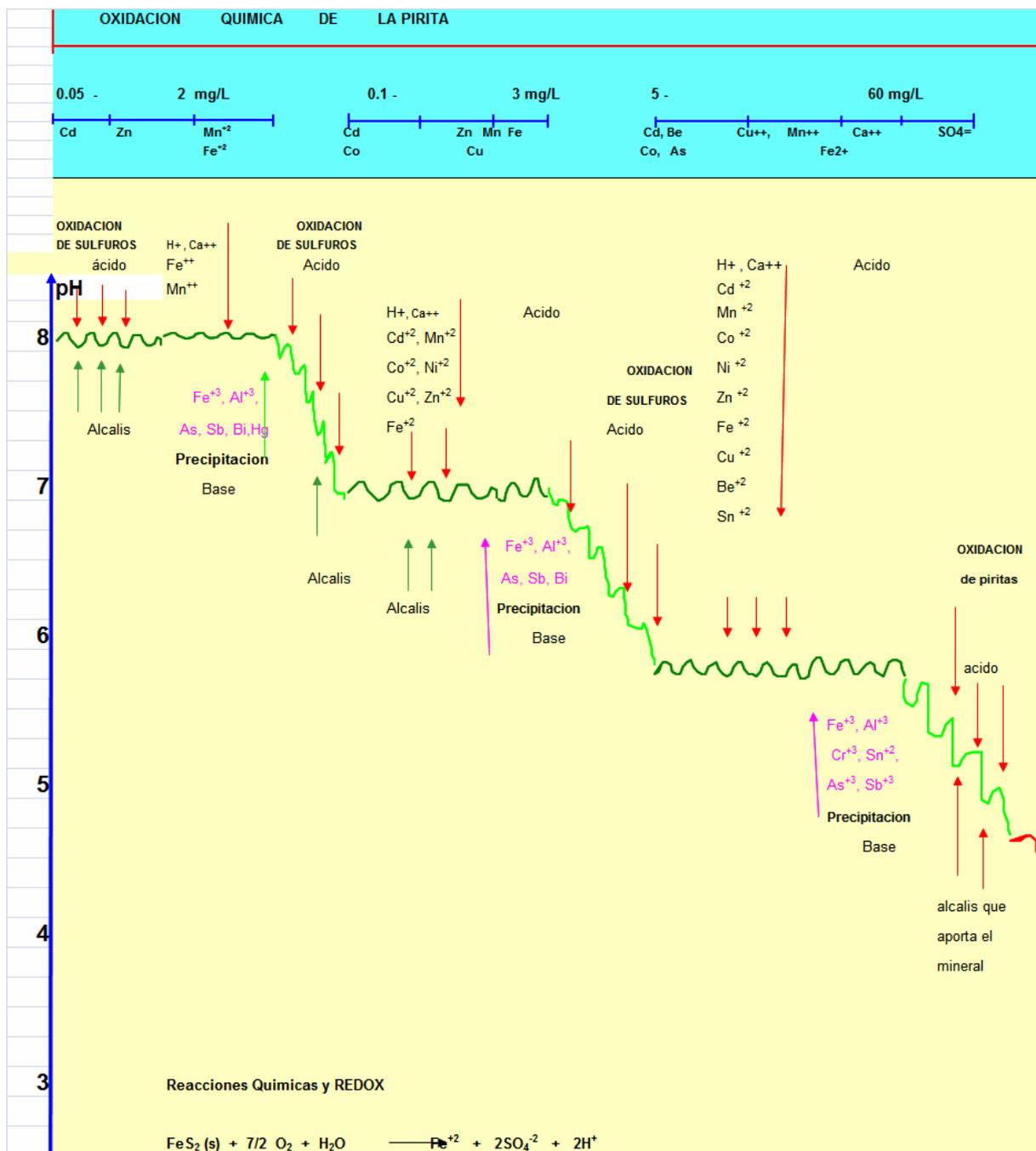
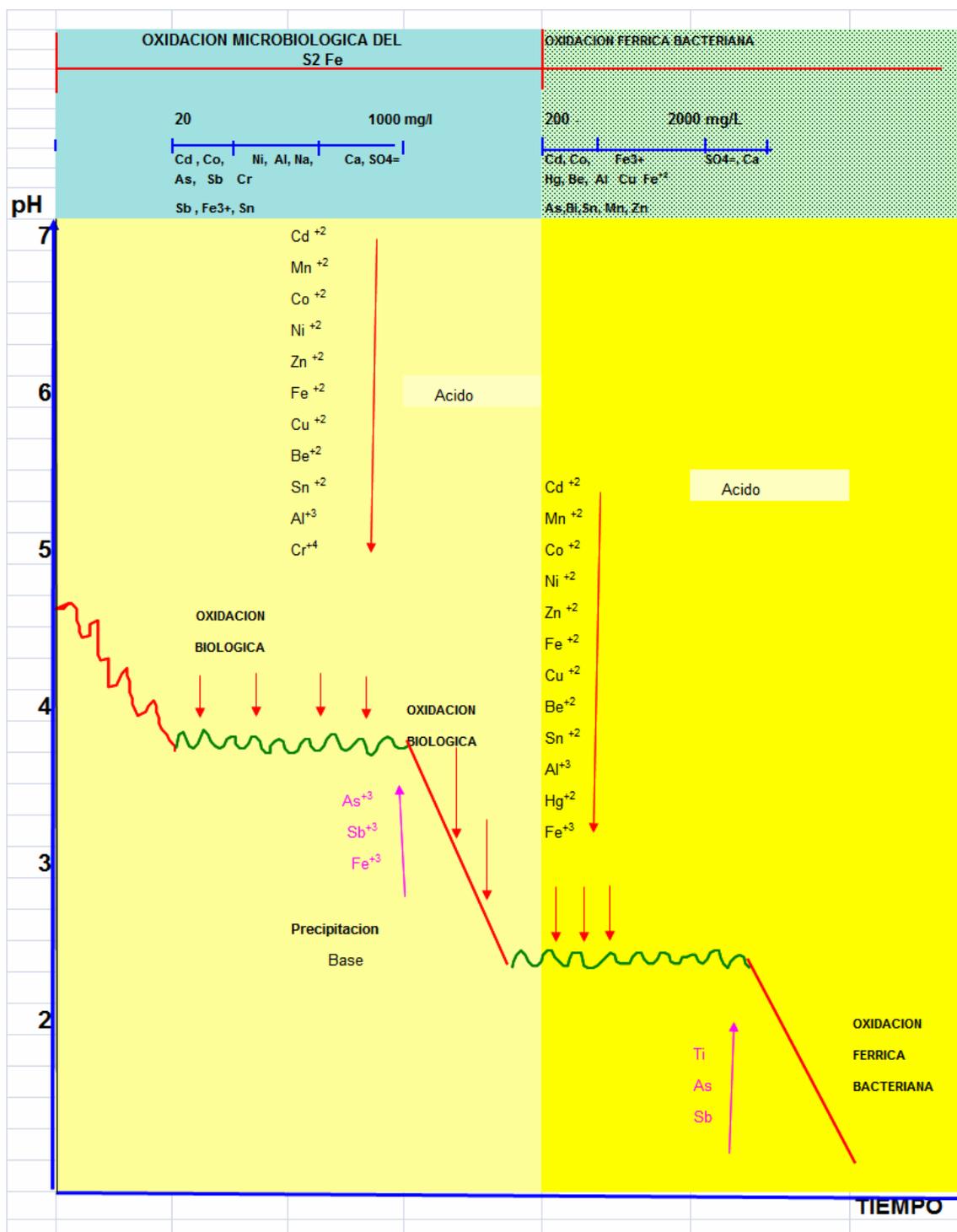


Figura 2.7 Procesos del DAR con una oxidación de la Pirita a pH menores de 4.5



2.3.6 Cinética de reacción

Los sulfuros se disolverán mas rápidamente si las reacciones son favorecidas por agentes catalíticos, como es el caso de ciertos microorganismos que aceleran la transferencia de electrones. Las reacciones serán favorecidas por el incremento de temperatura; y la reacción continuará indefinidamente si el diseño está preparado para superar los factores limitantes a la reacción, dentro los que mencionamos:

- Ausencia de reactantes por pasivación de compuestos intermedios; fundamentalmente referido a la acumulación de precipitados o productos residuales de las reacciones como es el caso del azufre que se acumula sobre la superficie de reacción
- Movilización de la solución (disminuir el espesor de la capa de Nerst).
- Aspectos fluodinámicos: partícula-líquido; mayor área superficial para el primero y mayor agitación para el segundo. Las características de presentación del mineral (consideraciones mineralógicas)) en la roca va incidir en el éxito de la cinética de reacción.
- Dentro de las consideraciones geológicas/mineralógicas más importantes a atender tenemos:
 - La compleja configuración geológica, principalmente, en lo referente a vetas.
 - La variada mineralogía con potencial para contribuir con diferentes contaminantes en el tiempo, y en diferentes lugares.
 - La asociación del mineral con la pirita como el principal mineral sulfurado.

Para determinar si un material minero puede disolverse en un determinado tiempo, se utiliza las *pruebas de cinéticas*.

El objetivo de las *pruebas cinéticas* es confirmar el potencial de generación de ácido en el campo y predecir la calidad del agua de drenaje, a corto y largo plazo.

Las pruebas de cinética geoquímica comprenden someter a intemperismo a las prueba, bajo condiciones controladas de laboratorio o en el asiento minero, con el fin de confirmar el potencial para generar acidez, determinar las velocidades de generación de ácido, oxidación de sulfuros, neutralización y agotamiento de metales, y además con el fin de probar las técnicas de control/tratamiento.

Mientras que las pruebas estáticas proporcionan información sobre las características de la roca y el potencial total para la generación de ácido independientemente del tiempo, las pruebas cinéticas definen explícitamente las velocidades de reacción tanto para la disolución de metales, como para la generación de ácido y lixiviación, a través del tiempo y bajo condiciones específicas.

Sin embargo, si bien las pruebas cinéticas indican efectivamente el comportamiento geoquímico, dependiente del tiempo, de una muestra por un periodo de semanas o meses, la predicción de la calidad del agua deberá realizarse para un periodo de años, en el futuro.

La predicción de largo plazo de la calidad de drenaje solo será posible a través de modelos matemáticos cuantitativos que puedan extrapolar con confiabilidad los resultados, más allá del momento de la prueba.

Entre las pruebas más importantes se tiene:

- Pruebas de intemperismo en frasco agitado. El lixiviante es agua del medio y las pruebas se realizan en el mismo lugar.
- Pruebas en celda Húmeda, son pruebas de laboratorio de pequeña escala diseñadas para simular los procesos de intemperismo geoquímico.

- Columna de humedad, son pruebas de laboratorio de escala moderada y como tal una representación mas próxima de lo que puede suceder en el lugar del yacimiento.
- Pruebas de Lixiviación en columnas, pruebas de laboratorio de mayor escala. Simula con mayor precisión lo que puede suceder en campo; además estas pruebas pueden diseñarse para operaciones continuas.
- Pruebas in situ, utiliza pequeñas pilas de 5 a 10 TM; para casos especiales pueden alcanzar los 5000 TM, para este caso ya se tiene una evaluación muy exacta del comportamiento del futuro material de abandono.

2.4 Principales reacciones química en los Procesos de Drenaje Acido de Roca (3, 12, 16)

2.4.1 Oxidación de la pirita.

La reacción total de generación de ácido, en la que se muestra a la pirita siendo oxidada por el oxígeno, es representada por la siguiente ecuación:

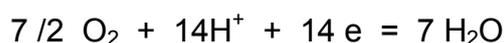


Como observamos la oxidación de una mol de pirita genera dos iones protones o un mol de SO_4H_2 (La oxidación de S-1 a S+6 genera 7 electrones las que son tomadas por el oxígeno).

La media celda anódica estaría representada por la siguiente reacción:



donde el S⁻¹ pasa a S⁺⁶ (Reacción de oxidación del sulfuro)
y la media celda catódica por:

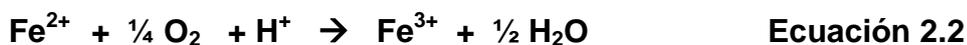


Donde el O^0 pasa O^{-2} (Reacción de reducción del oxígeno).

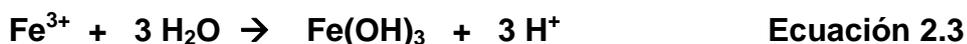
La oxidación de la pirita (Ecuación 2.1) es una reacción relativamente rápida a valores de pH mayores a 4.5, pero mucho más lenta a niveles de pH más ácidos. **La velocidad del suministro de oxígeno es el elemento que controla principalmente la velocidad de la oxidación química.**

2.4.2 Reacciones del Fe^{2+} y Fe^{3+}

Otra reacción redox de mucha importancia en los procesos DAR es la oxidación del hierro ferroso la que reacciona con el oxígeno para formar hierro férrico:



A niveles de pH por encima de 3.5, el hierro férrico (Fe^{3+}) tiende a precipitarse como hidróxido férrico. Esto forma el precipitado rojo que se observa en la mayoría de minas que generan ácido. Durante esta reacción, se liberan iones de hidrógeno adicionales.



A niveles de pH inferiores a 4.5, la oxidación por el hierro férrico se convierte en el proceso de oxidación dominante. La velocidad de producción de hierro férrico, a partir del ferroso (Ecuación 2.2), se convierte en la etapa controlante del proceso total de oxidación. Sin embargo, por catálisis biológica, la oxidación del Fe^{++} se hace más rápida..

De acuerdo a las ecuaciones 2.2 y 2.3 que representan la oxidación del Fe^{2+} a Fe^{3+} y finalmente la precipitación del férrico, en ambas ecuaciones

donde:

O ₂ :	Demanda teórica de oxígeno	(Kg de O ₂ /h)
Q _w :	Velocidad del flujo del drenaje ácido	(l/s)
Fe(II):	Concentración inicial de Fe(II)	(mg/l)

El contenido de O₂ en el aire es de 21% por volumen y sólo una fracción del oxígeno que está en contacto con el agua es absorbida. Esta fracción es expresada como eficiencia de transferencia.

Una expresión que nos aproxima al cálculo de la demanda del aire es la siguiente:

$$QA = 6.324 * O_2 / E$$

donde:

QA:	Total de aire demandado	m ³ /min
O ₂ :	Demanda de oxígeno requerido	Kg/h
E:	Eficiencia de O ₂ transferido	%

Los valores de E varían de 3 a 25 % dependiendo del tipo de aireador.

Las eficiencias de transferencias de oxígeno del aire al agua por agitación mecánica son solo del orden del 12 al 15%.

Los reactores con turbinas tipo axiales son los más recomendables para generar una buena difusión del aire en el agua.

2.5 Iones metálicos en las soluciones de drenaje ácido (16, 12)

La extracción o disolución de minerales o elementos metálicos puede ser fácilmente representado por dos tipos de reacciones.: La primera que es sólo una redisolución de productos (sales solubles) en un medio acuoso, como tal no hay ninguna reacción y es de orden cero, respecto al tiempo. La velocidad de disolución es instantánea, salvo anomalías en el contacto sólido líquido.

La segunda parte de la disolución se produce por reacciones químicas o redox y por lo general las variaciones de las concentraciones de los cationes respecto al tiempo es una función exponencial de primer orden respecto al tiempo. El manejo adecuado de las curvas analíticas que representan el modo de disolución es muy importante en lo que respecta a proyecciones de disolución del material.

La expresión matemática que representan un sistema de lixiviación está dada por la siguiente ecuación

$$-d(\text{Fe}^{++})/dt = k(\text{Fe}^{++}); \quad \text{resolviendo da } \text{Fe}^{++} = \text{Fe}_0 e^{-kt}$$

$$\text{Ln Fe} = \text{Ln Fe}_0 - kt; \quad \text{donde } k \text{ es La constante de cinética}$$

Por otro lado las Concentraciones de iones metálicos en la solución es una función del producto de solubilidad con respecto a la formación de su correspondiente hidróxido y estos varían en función de la concentración de iones hidrógeno (H^+). Estas variaciones están representadas en las curvas de solubilidad: Concentración metálica vs pH. Esta curva involucra varias reacciones posibles entre el ion metal y la solución acuosa a diferentes concentraciones de pH. La relación de la concentración de iones metálicos es una función inversa del pH hasta alcanzar un mínimo. A continuación mencionaremos las concentraciones mínimas de los principales iones metálicos y su correspondiente pH de equilibrio.

Me ⁺⁺	pH	Concentrac
		mg/l
Cu	10	0.0006
Ni	11	0.0007
Cd	11	0.04
Zn	10	0.3
Pb	10.7	20

Para medir el tipo de catión que ingresa a la solución, normalmente se utiliza las pruebas de extracción (nivel de toxicidad)

Las pruebas de extracción deben simular la disolución de las sales de metal cuando estas están en contacto con aguas de lluvia,

Existen varios procedimientos para las pruebas de extracción, siendo las mas conocidas:

- ASTM D3987 extracción con agua destilada.
- Procedimiento especial para extracción de desechos B.C (SWEP), que utiliza ácido acético como extractante.
- U.S. EPA 1372 procedimiento que utiliza ácido nítrico/sulfúrico como extractante.
- U.S. EPA 1372 o prueba de Lixiviado TCLP, que utiliza extractante derivado del ácido acético..

El test U.S. EPA 1372 mide la toxicidad de la muestra y se evalúa mediante la aplicación del ensayo “SYNTHETIC PRECIPITATION LEACHING PROCEDURES” según método 1312 de la EPA. El método consiste básicamente en una lixiviación a temperatura y agitación controlada por espacio de 18 horas con un líquido extractante conformado por una solución de SO_4H_2 y NO_3H a $\text{pH} = 2$.

El análisis del lixiviado se realizara por 10 metales: As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag, Cu, y Fe los que serán comparados con la norma EPA.

2.6 Efluentes mineros y carga metálica

2.6.1 Carga contaminante.

Las concentraciones de los efluentes mineros, de alguna manera están controlada por los límites máximos permisibles (LMP) dados por la autoridad competente; sin embargo, en muchos casos es necesario representarlas como cargas (concentración x flujos) con el fin de poder

hacer balances de masas, especialmente cuando dos cuerpos de agua se juntan , así se tiene;

$$\text{Carga 1} = \text{Flujk 1} \times \text{Conc 1} \quad \text{Carga del rio 1 en metal m1}$$

$$\text{Carga 2} = \text{Flujk 2} \times \text{Conc 2} \quad \text{Carga del río 2 en metal m1}$$

$$\text{Carga Tot} = \text{Carg 1} + \text{Carga 2} \quad \text{Carga total del conjunto}$$

$$\text{Flujo Tot} = \text{Flujo 1} + \text{Flujo 2} \quad \text{Flujo Tot del conjunto}$$

$$\text{Conc promed} = \text{Carg T} / \text{Flujk Tot} \quad \text{Conc promedio de los dos}$$

2.6.2 Diversificación de los efluentes.

En la unidad productiva se puede contar con más de dos efluentes o estos podrían centralizarse en uno solo, en todos los casos merece caracterizar a cada uno de ellos en sus concentraciones y en sus cargas aportantes, de tal manera de visualizar en qué situación se está en relación a los límites máximos permisibles y el futuro efecto en el cuerpo receptor. Los resultados individuales y totales, guiarán para implementar las mejores prácticas de control, las que incluyen tratamientos totales o individuales. Una buena práctica es recolectar las soluciones en sus propias fuentes, de esta manera los cationes están más concentrados y la extracción de carga es más eficiente, además, los volúmenes a tratar son menores. También es una buena práctica contar con estanques de homogenización, pues de esta manera las posibles mezclas ayudan a tener soluciones homogéneas y las cargas se compartes con todo el volumen, cuyo producto es una disminución de las concentraciones. Finalmente, una adecuada caracterización de las aguas residuales en proceso, permitirá decidir por aquellas aguas que aun pueden ser reutilizadas en otra actividades dentro de la Unidad Minera

drenaje ácido. Las características más importantes son: *la intensidad del contaminante*, que mide por ejemplo cuán ácido es el drenaje o la cantidad de iones metales, especialmente con aquellos metales que afectan al medio receptor tales como el arsénico, plomo, plata, etc.

Otra de las características es la extensión, en este rubro se mide cuán grande es el contaminante (volumen por ejemplo). Otra característica que define la severidad es el tiempo en que este puede potencialmente actuar.

2.7.2 Cuerpo receptor

El otro elemento principal en las mediciones del riesgo ambiental es el cuerpo receptor. El cuerpo receptor, para este caso está referido al ente que es contaminado. El cuerpo receptor está conformado por las aguas y la vida acuática existente en ella; los animales que beben las aguas contaminadas; las plantas que se riegan con aguas contaminadas, materiales que son alterados o corroídos por la presencia de aguas ácidas, suelos que son contaminados por aguas ácidas y sedimentos mineros y finalmente el hombre cuando este lo utiliza sea como bebida, lavado, o consume alimentos previamente contaminados.

2.7.3 Fuente de transferencia.

En este rubro se analiza la forma de cómo la fuente de contaminante alcanza al cuerpo receptor o viceversa. Existen dos modelos; uno de ellos y el más frecuente cuando la fuente contaminadora alcanza al cuerpo receptor y la segunda cuando el cuerpo receptor se traslada hacia a la fuente contaminadora.

Para el primer grupo tenemos:

- a. La fuente contaminadora alcanza al cuerpo receptor, las situaciones más comunes son:

- Corrientes de agua superficial que unen al foco contaminante con el cuerpo receptor.
- Corrientes de aguas subterráneas.
- Medios de transporte como camiones con carga de minerales o concentrados
- Arrastre progresivo sea por el viento o por el agua de partículas minerales hasta alcanzar a la fuente receptora

b. El cuerpo receptor alcanza a la fuente contaminadora.

El modelo para este caso está referido para cuando la fuente contaminante está confinada a un determinado lugar; como tal no alcanza a ningún cuerpo receptor; sin embargo, el cuerpo receptor puede moverse y alcanzar al área donde se ubica el contaminante: veamos algunos casos:

- Traslados de las personas a cursos de aguas contaminadas y uso de ellas
- Presencia de personas en áreas de suelos contaminados, utilizando tales suelos para uso agrario u otro.
- Presencia de animales en los cursos de aguas contaminadas. Crecimiento de plantas en suelos contaminados
- Movimientos de aguas superficiales sobre depósitos de minerales, arrastrándolos y expandiendo la contaminación a otros lugares.

2.8 Sistema de Gestión Ambiental. (11)

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) propuesto debe tener ciertas características que den la garantía que su implementación va hacer una herramienta para la mitigación y el control del drenaje ácido de roca (DAR).

El pilar bases de este sistema es el de las Mejoras Continuas (ISO 14001); otro aspecto fundamental que interesa desarrollar dentro del SGA es la Prevención a la Contaminación. También forma parte de

este sistema, es el cuidado del medio ambiente que es Responsabilidad de Todos.

El SGA ISO 14001 comprende básicamente 5 grandes etapas o 17 requisitos para su implementación. El desarrollo de las etapas en forma ordenada configura un esquema helicoidal de las mejoras continuas.

La primera etapa es el planteamiento de las Políticas Ambientales, se continua con la Planificación, luego la implementación y operación; una cuarta etapa está constituida por la verificación y acciones correctivas; la quinta etapa y última es la revisión por la Alta Dirección, cuyos resultados van a incidir directamente en el ajuste, o modificación de la política ambiental, de tal manera que se continua con el sistema, pero ahora en un plano superior siempre con el fin de alcanzar una mejora.

Como herramienta metodológica, un tema de importancia son los procedimientos a considerarse para realizar las selecciones, calificaciones, evaluaciones, etc. de los diferentes asuntos en el desarrollo del SGA aplicado al manejo del drenaje ácido de roca: Estos procedimientos deben ser objetivos, medibles, cuantificables y básicamente auditables. Entre los procedimientos más importantes se tiene: Determinación del Potencial de Drenaje ácido de roca; Evaluación de los Aspectos Ambientales y selección de los mas significativos; Selección de los controles operacionales y de desempeño; etc.

Sin ser éstos limitativos, los procedimientos utilizados para la implementación del SGA son los siguientes;

- Definición de las políticas ambientales en lo concerniente a la generación de DAR, comunicando que es interés de la Empresa minimizar la extracción de los materiales sulfurados no comerciales y tratar en lo mejor posible que el sulfuro que se extrae sea dispuesto adecuadamente e inhibidas sus reacciones básicas.

- Definición de las áreas con posibles impactos de contaminación, además de la definición del marco legal
- Construcción de los diagramas de bloques de cada una de las principales actividades o etapas del proyecto e identificación de los Aspectos Ambientales. (AA)
- Definición de criterios y determinación de los Aspectos Ambientales más Significativos. AAS
- Definición de los Objetivos y Metas.
- Selección de los AAS que formarán parte del SGA en el marco de las mejoras continuas.
- Por cada AAS, determinación de actividades críticas, puestos claves, capacitación específica, etc.
- Preparación del Plan de manejo Ambiental
- Definición de los controles operaciones y de desempeño, además del desarrollo de los diferentes procedimientos.
- Criterios para el manejo de la documentación
- Definición de las actividades de control y supervisión.
- Definición de los mecanismos de revisión por la alta dirección.
- Reevaluación de las políticas ambientales.

2.9 Criterios adoptados en la definición de posibles áreas afectadas

Durante el desarrollo de las actividades mineras y aun durante la etapa de post cierre, ocurre un conjunto de cambios que muchos de ellos tienen que ver con la posibilidad de generación de drenaje ácido. Para esta evaluación se ha tomado en consideración solo lo mas importantes tomando como criterio la magnitud, la posibilidad de oxidación de los sulfuros; la posible generación de drenaje ácido y las cercanías a los cuerpos receptores. Un tema que deberá introducirse es la máxima capacidad de Potencial Ácido que el yacimiento puede producir si éste se explotara. La exploración geológica debe identificar

los sulfuros presentes y la cantidad en que estos materiales pueden salir como parte de las actividades de explotación.

Las áreas o unidades mineras consideradas son las siguientes:

- Todas las áreas descubiertas producto de las actividades de exploración y de explotación minera, estas áreas por lo general contienen los elementos básicos para el desarrollo del DAR, esto es presencia de sulfuros en la superficie; presencia del aire atmosférico que pueda realizar la oxidación de los sulfuros y presencia de agua que disuelva los productos de reacción; además, que la roca tenga un notable valor negativo del Potencial Neto de Neutralización.
- Un segundo grupo está relacionado a la formación de grandes botaderos de minerales como producto normalmente del desarrollo de la mina o por la acumulación de minerales marginales en la espera de una oportunidad para su procesamiento. Estos materiales ya se encuentran fragmentados, formando desde bloques de 60" hasta particulado fino, como tal la presencia de sulfuro superficial se encuentra en mayor proporción que el caso anterior; el aire alcanza a estas superficies mucho más rápidamente, así como las precipitaciones pluviales o la presencia de escorrentías superficiales. Además, si el material está evaluado con un valor negativo en su PNN, la presencia de aguas ácidas es posible no sólo a corto sino también a largo plazo. También se considera material de baja ley que va a la zona de preparación mecánica y que no es procesado, sino dispuesto temporalmente
- Un tercer grupo está conformado por los residuos industriales generados después de la etapa de flotación y lo conforman los relaves, que por lo general concentran importantes cantidades de pirritas. La característica de estos materiales es que son de grano fino, como tal el área superficial reactiva crece; dependiendo de las condiciones de cómo se encuentre este material, la presencia del

aire puede quedar relativamente limitada, especialmente cuando la molienda es bastante fina y existe heterogeneidad en los tamaños de granos, es decir una disminución relativa de los vacíos o menos porosos. Estos materiales, sin embargo, pueden reaccionar por acción férrica o bacteriana a pesar de que la llegada del oxígeno sea limitada. Las presas de relaves son los lugares donde se confinan estos materiales, y de acuerdo a ciertas características, éstos pueden ser potencialmente generadores de drenaje ácido a mediano y largo plazo.

2.10 Balance de masas e identificación de Aspectos ambientales y (AA)

Para la definición de los AA se hará uso de las técnicas de balance de masas utilizando diagramas de bloque. En estos diagramas y para cada área anteriormente definida, se mostrarán las entradas o insumos, las actividades y los productos compartiendo en este último los residuos

Para el primer caso como materiales de entrada se tiene los materiales como los sulfuros que pueden generar ácido; así como la presencia de materiales consumidores de ácido; por otro lado contamos como elementos entrantes las características climáticas, especialmente el grado de humedad, temperatura y precipitaciones pluviales. Como actividades se tiene los modelos de explotación minera; ellos van a ir dejando, túneles; bocaminas, chimeneas, rampas, galerías, etc.; finalmente como resultado al final de las operaciones se encuentran áreas que están al descubierto; efluentes de minas.

Para el segundo caso, que corresponde a los botaderos y desmontes o apilamientos de material marginal, como elementos de entrada se tiene las caracterizaciones de los materiales y las condiciones ambientales; como actividades tenemos los modelos de disposición

y finalmente como productos tenemos los materiales realmente expuestos al ambiente y la posible presencia de drenaje ácido.

Para el tercer caso, el de las presas de relaves, como elementos de entrada contamos con las características mineralógicas del relave, así como las características de granulometría, y otras propiedades relacionadas a la porosidad o a la permeabilidad del material; como actividades se tiene básicamente los sistemas de confinamiento de estos materiales y como elementos de salida, las superficies de los relaves que realmente están expuestas a la oxidación y a la formación del drenaje ácido

2.11 Aspectos Ambientales Significativos (AAS)

2.11.1 Criterios asumidos para la selección de los AAS

De todos los posibles Aspectos Ambientales, identificados en los diagramas de balance de masas, estos son valorizados usando criterios que definen el grado de severidad o importancia como agente contaminante; aquellos aspectos que con mayores valores relativos serán considerados como los AAS;

Dentro los criterios asumidos tenemos los siguientes:

- Magnitud. Referida al tamaño de la actividad o cuerpo contaminante, se mide en unidades de longitud, aéreas volúmenes, peso, etc.
- Intensidad, referida a los niveles de contaminación que se alcanza así como al tipo de contaminante predominante; además, se considera:
 - Nivel de oxidación; referido a que el material es susceptible o no a la oxidación, sea por la presencia de sulfuros en cercanía con el oxígeno u otro oxidante
 - Ausencia de materiales alcalinos, especialmente piedras calizas.

- Presencia de agua, como elemento disolvente y de transporte de los subproductos de la oxidación de los sulfuros, en general aguas ácidas con importantes contenidos de metales.
- Presencia cercana de los cuerpos receptores, concretamente fuentes de aguas, suelos, animales y personas.
- Temporabilidad, relacionada a la permanencia del elemento que causa el impacto
- Aspectos legales, existen un conjunto de normas y disposiciones que limitan las cantidades y concentraciones de los efluentes mineros.
- Compromisos con el entorno, referido a las obligaciones asumidas con el entorno en el marco de la protección ambiental.

2.11.2 Criterios de selección de los AAS para el SGA dentro del marco de las Mejoras continuas

Los criterios adoptados para seleccionar aquellos AAS que pueden ser manejados en el marco de las mejoras continuas son los siguientes:

- Concordancia con las políticas ambientales, referida a que el AAS está estrechamente relacionado a las principales lineamientos de política ambiental asumidos por la Empresa.
- Alto puntaje en la calificación de los AAS, de tal manera que existe un alto potencial de reducción.
- Bajos costos y disponibilidad de recursos. El AAS seleccionado podría manejarse utilizando bajos recursos, tecnología simple y bajos costos. En términos de valores económicos este debe ser el mínimo posible en la medida que los programas de manejo ambiental apunten a controlar el impacto.
- Que sea de fácil entendimiento y de interés de los trabajadores.
- Que tenga un alto potencial de disminución del riesgo ambiental

- Finalmente que permita estar en concordancia con las disposiciones normativas y compromisos con el entorno

2.11.3 Marco de acción con los AAS

Tanto para los AAS que pasan al seguimiento de las mejoras continuas como los no seleccionados, deben realizarse las siguientes actividades:

- Definición de objetivos para cada AAS, en concordancia con las políticas ambientales
- Definición de metas para cada uno de los objetivos
- Mecanismo para determinar caminos críticos; todos los AAS deben desagregarse en sus componentes y determinar las diferentes posibilidades de caracterizarlos, seleccionando aquellos que pueden ser considerados como críticos.
- Una vez determinadas las actividades críticas, se definen los puestos claves, cuya función es reforzarlos y desarrollarlos para lograr que las actividades críticas tengan los operarios mejor preparados.
- Capacitación especial al personal que opera en una actividad crítica.
- Establecer los controles operacionales, además de contar con los correspondientes procedimientos
- Control de desempeño, este tema es importante para los AAS que forman parte de las Mejoras continuas

2.12 Mediciones y control

Los criterios adoptados en el tema de las mediciones y control pasan por las siguientes etapas:

- Definición de lo que se mide. Estas mediciones deben cumplir un objetivo y poder compararse con estándares o límites exigidos por la autoridad competente.

- Selección de los puntos de monitoreo. Estos lugares deben estar referenciados, sea identificando su lugar con un GPS y complementando con la referencia de un lugar conocido: cruce de un río, al pie del cerro San Juan, en el estanque N° 21, etc.
- Frecuencia. Definir la frecuencia de medición así como los procedimientos para la toma de muestra (puntuales, compósitos, etc.)
- Definición de los equipos a utilizarse. Especialmente que cubra los rangos de lectura que se desee medir, niveles de sensibilidad adecuados, así como de precisión.
- Patrones y calibración. Los equipos periódicamente deben ser chequeados con patrones estándares o calibrados por una entidad autorizada.

Reporte. Todas las mediciones serán reportadas en hojas especiales, donde se acopiarán datos que más adelante pueden ser utilizados. Los reportes serán celosamente archivados y disponibles para quienes lo soliciten, especialmente para las tareas de auditoría

CAPITULO III

INGENIERÍA PARA EL CONTROL DEL DAR

3.1 Aspectos Generales.

3.1.1 Introducción

En este capítulo trataremos sobre la ingeniería para el control del Drenaje Acido de Roca haciendo referencia a las medidas tomadas para prevenir o limitar la generación o migración de drenaje contaminado que podría originar un impacto ambiental adverso.

El control de las reacciones de generación de ácido, en las etapas iniciales de oxidación, exige el control del pH para evitar la ocurrencia de oxidación biológica; o bien el control del suministro de oxígeno, el oxidante principal. En etapas posteriores la oxidación es rápida y más difícil el control de las reacciones de generación de ácido. La oxidación de minerales sulfurosos produce hierro ferroso. La actividad biológica oxida el hierro ferroso y lo convierte en férrico, el cual actúa como el oxidante principal. En este momento, las reacciones son esencialmente autosuficientes. En esta etapa, el control del drenaje ácido deberá depender principalmente de prevenir que los productos ácidos migren.

El tratamiento del Drenaje Acido de Roca (DAR), no sólo involucra el problema de la acidez sino el alto contenido de cationes metálicos, para el cual una eventual neutralización de la solución con el objeto de que cada ion metálico forme su correspondiente hidróxido de metal (sólido

fino o coloide), ésto nos obligaría posteriormente a realizar operaciones de separación sólido/líquido donde el sólido es un precipitado fino y/o coloide. (9, 3)

El efluente contaminado o DAR, que surge de la oxidación de los sulfuros y estos se encuentran en diferentes tipos de rocas, como tal, se espera diferentes características del drenaje; así se tiene:

- neutro con concentraciones elevadas de sulfatos
- neutro con concentraciones elevadas de metales
- ácido con pH=2-4; alta acidez y tenores elevados de metales
- pH = 1.5-3.0, alto nivel de sulfato y acidez
- pH = 1.2-2.5 alto nivel de sulfato; alta acidez y tenores elevados de metales.

3.1.2 *Objetivos.*

El objetivo del control de la generación de ácido es limitar la formación de ácido en la fuente, inhibiendo la oxidación del sulfuro. Las medidas de control disponibles se resumen a continuación: (**Ver Cuadro N° 3.1**)

CUADRO N ° 3.1

OBJETIVOS DEL CONTROL	MEDIDAS DE CONTROL
Remoción o aislamiento del sulfuro	Acondicionamientos de desechos Minimizar la fragmentación
Disminución del área de reactividad	Coberturas y suelos:
Exclusión del agua	* Deposición subacuática
Exclusión del oxígeno	* Coberturas y sellos
	* Segregación y mezcla de desechos
Control del pH	Aditivos alcalinos
Control de la acción bacteriana	Bactericidas. Buscar condiciones no favorables para el desarrollo bacterial

3.1.3 Control del DAR: Enfoques. (7, 15, 5)

El control de las aguas ácidas y de los materiales que producen el drenaje ácido de mina, en su tratamiento puede tener los siguientes enfoques:

- Control primario: control de las reacciones de generación de ácido (prevención).
- Control secundario: control de la migración de contaminantes (mitigación)
- Control terciario: recolección y tratamiento (mitigación).

3.2 Control de reacciones de oxidación (Control Primario).

Existen tres factores claves requeridos en las primeras etapas de la oxidación química: **sulfuros reactivos, oxígeno y agua**. Otros factores importantes que afectan la velocidad y extensión del DAR **son las bacterias, la temperatura y el pH**.

El objetivo del control de la generación de ácido es evitar o reducir la formación de ácido en la fuente, mediante la inhibición de la oxidación de sulfuros. Ello podría lograrse mediante el control de uno de los factores primarios de la oxidación. El control de los factores secundarios puede utilizarse para limitar la velocidad o establecimiento del DAR. En el **Cuadro N° 3.2** se tiene un resumen de las medidas que actualmente se emplean o se tienen en cuenta para el control de las reacciones de lixiviación de metales y/o de oxidación.

**CUADRO Nº 3.2
RESUMEN DE MEDIDAS DE CONTROL DE LA GENERACIÓN DE ACIDO**

Objetivo de Control	Medida de Control	Aplicable para:	
		Lixiviación de metales	Drenaje de ácido de roca
Eliminar sulfuro reactivo	Flotación o segregación	Si	Si
Excluir agua	Cubiertas	No	Si
Excluir oxígeno	Disposición submarina	No	Si
	Disposición sub-aérea	No	No
	Cubiertas	No	Si
Controlar pH	Mezclado	No	Si
	Aditivos bases (cal, fosfatos)	Si	Si
Controlar acción bacteriana	Bactericidas	No	Si
	Temperatura	No	Si

3.2.1 Eliminación de sulfuros

El objetivo de la eliminación de sulfuros es disminuir el potencial de acidez (PA) mediante la reducción del contenido de azufre como sulfuro. Esta medida ha sido considerada para algunos asientos con el fin de decrecer el potencial de generación de ácido de los relaves, generalmente por flotación de un concentrado de sulfuro (pirita). Posteriormente, sería necesaria la disposición separada de este concentrado. En algunas minas, este concentrado se combina con cemento y se utiliza como relleno en labores subterráneas. A pesar de que el cemento y la cal proporcionan una capacidad neutralizante, persiste un potencial limitado de oxidación y disolución de metales (especialmente de metales que son móviles en pH alcalino).

3.2.2 Aditivos básicos o mezcla

El potencial de generación de ácido se basa en las proporciones relativas de los materiales productores y consumidores de ácido. El objetivo de mezclar o añadir material alcalino es controlar el pH en el rango cercano

al neutro, limitando así la oxidación química, y prevenir el establecimiento de la oxidación bacteriana catalizada. Se puede añadir material alcalino o neutralizante a los relaves, como por ejemplo, la piedra caliza, cal e hidróxido de sodio, durante el procesamiento; o bien se puede colocar estos materiales en capas dentro de la roca que genera ácido, durante la acumulación. Los aditivos básicos, como la piedra caliza finamente molida que se mezcla íntimamente con la roca, puede ser adecuado en un corto plazo, dependiendo de la cantidad, tipo y reactividad de los minerales sulfurados.

3.2.3 Restricciones al acceso del oxígeno

La exclusión de oxígeno deberá permitir el accionamiento de todos los mecanismos de transporte de oxígeno, por ejemplo:

- la convección debido a diferencias de temperatura entre el aire en la pila o botadero y el aire del exterior;
- la advección ocasionada por el bombeo barométrico, como consecuencia de los cambios en la presión barométrica y como resultado de las presiones y succión del viento, ocasionadas por el flujo de aire sobre la pila o el botadero; y
- el flujo difusivo en la pila o botadero.

La tecnología de diseño de cubiertas se ha desarrollado considerablemente en años recientes. Modelos tales como el código KEMAKTA-TRUST, desarrollado en Suecia (Collin et al., 1990) permiten la predicción del rendimiento de cubiertas, perfiles de saturación a través del tiempo, difusión de oxígeno a través de la cubierta y velocidades de generación de ácido en los relaves o masas de roca subyacente.

3.2.3.1 Cubiertas y sellos

Se puede colocar cubiertas y sellos en la superficie y lados de un embalse de relaves o de botaderos, para restringir el acceso de oxígeno y agua y así, inhibir la generación de ácido. Para limitar la entrada de

oxígeno o agua, la cubierta deberá tener muy baja permeabilidad a estos elementos y no tener agujeros o imperfecciones a través de los cuales puedan ingresar.

Experiencias en Norteamérica, Australia, Noruega y Suecia demuestran que el suministro de oxígeno puede reducirse a niveles muy bajos (<2%) con una cubierta bien diseñada y construida y, de esta manera, reducir la velocidad de oxidación. Sin embargo, no se ha demostrado que alguna cubierta pueda eliminar completamente el flujo de oxígeno por los mecanismos anteriormente indicados. Además, una de las preocupaciones a más largo plazo en relación con la integridad de las cubiertas está vinculada con la resistencia de la cubierta a las roturas, efectos horadantes de raíces y animales, la erosión y degradación debido al intemperismo a la acción de las heladas. Estas acciones aumentan la permeabilidad de la cubierta a través de la producción de agujeros en ella, o mediante la modificación de la estructura del suelo.

3.2.3.2 Encapsulamiento.

El encapsulamiento implica aislar parcial o totalmente al material de desecho del medio ambiente circundante. Los elementos claves de esta tecnología incluyen:

- Coberturas que son colocadas sobre el material de desecho y enlazadas con el sistema de contención natural o artificial subyacente.
- Métodos de manejo del agua superficial, como diques y canales a fin de evitar el contacto de las escorrentías con los desechos y, allí donde sea necesario y, además:
- Reforzamiento del sistema de contención existente por medio de muros de contención, construidos alrededor de la instalación, o construyendo un drenaje subterráneo a fin de evitar el contacto del agua subterránea con los desechos.

3.2.3.3 Cubiertas de agua.

3.2.3.3.1 *Definiciones y usos*

Actualmente, se considera que el agua es la cubierta más efectiva para excluir el oxígeno, mientras que los otros materiales son más adecuados para controlar la infiltración y, por lo tanto, la migración de contaminantes. Con la descarga bajo el agua, los espacios libres de la roca se llenan con agua. Así, se elimina el potencial de suministro de oxígeno y aire, ocasionado por las presiones advectivas y convectivas, aunque sigue existiendo la posibilidad de que el oxígeno sea transportado en el agua que fluye a través de los intersticios.

3.2.3.3.2 *Métodos.*

Existen dos métodos principales para establecer una cubierta de agua:

- a. Dentro y debajo del agua por medio de:
 - acumulación en un cuerpo de agua existente;
 - acumulación e inundación en una mina de tajo abierto o labores subterráneas;
 - acumulación en un depósito construido, como el embalse de relaves o lago artificial, y mantenimiento de una cubierta de agua.
- b. Establecimiento de una napa freática suspendida o una capa superficial saturada, con cubierta de tipo “ciénaga”.

3.2.3.4 Descarga Subacuática

3.2.3.4.1 *Definiciones y usos*

Actualmente, la descarga subacuática es la medida más prometedora para el control de la generación de ácido. El objetivo de colocar roca o relaves potencialmente generadores de ácido *bajo el agua es excluir el*

oxígeno. La solubilidad del oxígeno en el agua es muy baja (<12 mg/l), comparada con la del aire (21%); la velocidad de difusión del oxígeno a través del agua es muy baja, menor en cuatro órdenes de magnitud a la difusión del aire. Así, a falta de transporte convectivo, la velocidad de transporte del oxígeno a través del agua es lo suficientemente lenta como para que las reacciones de generación de ácido puedan reducirse efectivamente y lograr que el impacto sea insignificante.

3.2.3.4.1 *Consideraciones en la descarga subacuática.*

Los temas que deberán considerarse en el diseño de una instalación de descarga subacuática, para el control de la generación de ácido, son los siguientes:

a). *Mantenimiento de la cubierta de agua.*

Deberá mantenerse permanentemente una adecuada cubierta de agua sobre las superficies reactivas con el objeto de evitar el inicio de las reacciones de oxidación.. Es de aceptación general que la limitación del flujo y la concentración de oxígeno en la interface sólido/agua requiere de una cubierta de agua de tal vez 0.5 m de agua permanente.

b) *Movimiento de agua.*

La profundidad de la cubierta de agua en un cuerpo de agua también deberá tomar en cuenta: efectos de la acción de las olas, transporte en hielo, convección y cambios estacionales en los lagos que podrían incrementar el flujo de agua con oxígeno a los sólidos, o la perturbación de la superficie sólida

c) *Contaminantes solubles.*

En el programa de pruebas, se deberá considerar el potencial de disolución de contaminantes fácilmente solubles.

d) Impacto Ambiental.

Se puede evaluar el efecto de la descarga de relaves o roca de desecho en agua fresca o ambiente marino y compararse con la alternativa de descarga en tierra.

3.2.4 Ubicación y colocación de materiales residuales de las operaciones mineras metalúrgicas

Los métodos de ubicación y colocación de desmonte, residuos o relaves a fin de minimizar la infiltración deberán considerarse como parte de las operaciones de planificación para el manejo de residuos, conjuntamente con otros métodos de control

El control de migración de contaminantes en los botaderos puede basarse en métodos ingenieriles de colocación, como la construcción de botaderos celulares, compactación, mezcla con material de baja permeabilidad, etc. La construcción de botaderos celulares, cuando se usa una capa cobertura, puede reducir considerablemente el área de roca lixivante expuesta a la precipitación.

El control de la migración de contaminantes, mediante la compactación o mezcla con material de baja permeabilidad, pretende reducir tanto la permeabilidad del conjunto de la roca de mina como la filtración. La compactación de la roca requerirá la construcción en capas delgadas, siendo apropiadas solo para rocas blandas, como las unidades con apariencia de arcilla alterada.

3.3 Control de migración (Control secundario) . (5)

Cuando no se previene la generación de ácidos, el siguiente control es evitar o reducir la migración del drenaje ácido al medio ambiente. Debido a que el agua es el medio de transporte, la tecnología de control se basa

en evitar el contacto del agua con la fuente de drenaje ácido usando las siguientes técnicas:

- Desviar toda el agua superficial que corre a través de la fuente generadora de ácido.
- Evitar o interceptar el flujo de agua subterránea hacia la fuente generadora de ácido (mediante zanjas, pozos y bombas son apropiados para el corto tiempo) los muros de contención impermeables y los desagües por gravedad podrían ser apropiados en el largo plazo pero requerirán de un monitoreo y mantenimiento continuos.
- Evitar la infiltración de precipitación usando cubiertas y tapas sobre la fuente generadora de ácidos (debe considerarse las fuerzas disruptivas a largo plazo y el desarrollo de un programa de mantenimiento).
- Colocación controlada de materiales generadores de ácido a fin de minimizar la infiltración.

La primera acción es determinar los lugares donde se producen los drenajes ácidos, determinando las cantidades, magnitud del problema y grado de evolución de la oxidación del sulfuro metálico. En este nivel nos enfrentamos a dos tareas: mitigar las aguas ácidas (menores en volumen pero más concentradas) y tratamiento de la roca o material sulfurado.

Para este caso la acción más importante es evitar que se produzca el proceso REDOX (en el par anódico, pasivar el sulfuro y en el par catódico alejar él oxígeno del sulfuro) o que éste se produzca muy lentamente; las técnicas recomendadas para el caso de pasivar las superficies de sulfuro son recubrir esta superficie con materiales impermeabilizantes, encapsular el montículo o banco que contiene materiales sulfurados, recubrir con agua, si son laderas del cerro, recubrir con arcillas, etc.

Para el caso del oxígeno: evitar circulación del aire en zonas con sulfuro, si el oxígeno es transportado por el agua, evitar filtraciones o presencia de agua en los sulfuros. Una operación combinada dará mayor efectividad para evitar el drenaje ácido. Una práctica usual para el caso de galerías abandonadas es cerrar la bocamina e inundarla (hay que asegurar que el agua quede estancada). Cualquier acción que evite el contacto sólido / oxígeno (H₂O) va a beneficiar para que no se produzca el drenaje ácido.

3.3.1 Tipos de control de migración de contaminantes

3.3.1.1 Desviación del Agua Superficial

El objetivo del manejo de agua superficial es proteger a las instalaciones de desechos minerales de daños producidos por la erosión. El daño por erosión debido a escorrentía proveniente de áreas que desagüen en la unidad de desechos minerales puede ser evitados mediante desviaciones. Los elementos de diseño que pueden utilizarse para desviar las escorrentías incluyen; canales, zanjas con revestimientos y sin revestimientos, así como diques y terraplenes.

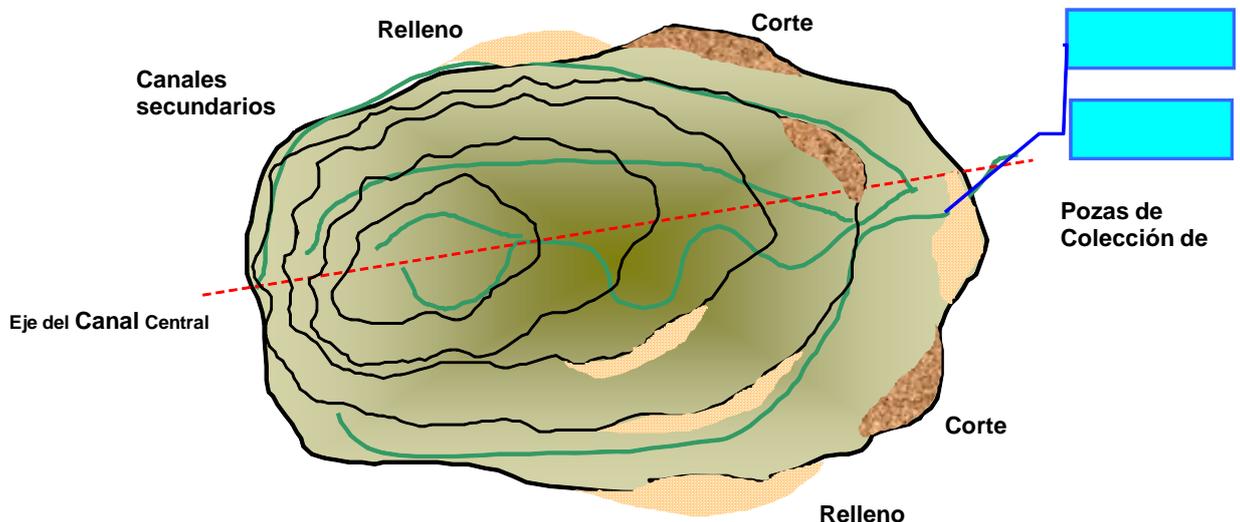
Los canales de acuerdo a su ubicación y función pueden ser de varios tipos; así se tiene:

a). ***Canales de derivación*** Son canales abiertos de buen tamaño y que cumplen con el objetivo de derivar los cauces de una cuenca o quebrada. Estos canales deberán estar diseñados para poder soportar por lo menos precipitaciones de hasta 200 años; para mayores precipitaciones el sistema deberá contener formas de amortiguar los excedentes como canales de emergencia, pozas de retención temporal; aliviaderos, etc.

b). **Canales perimetrales**; recogen las escorrentías de aguas de las laderas que circundan al depósito que se desea proteger; dependiendo del área de influencia de lluvias que puede acoger los canales variarán de tamaño y posición.

c). **Canales de Drenaje**; ayudan a evacuar las aguas de lluvia que caen sobre determinada área o zona a fin de evitar charcos o disminuir las infiltraciones hacia posibles cuerpos piritosos.

FIGURA N° 3.1
ARREGLO SUPERFICIAL: CORTE Y RELLENO, COMPACTACION Y CONSTRUCCION DE CANALES



En la **Figura N ° 3.1** mostramos un arreglo superficial aplicado sobre la parte superior de un cerro, que consiste en un conjunto de canales de drenaje, los que ayudarán a evitar infiltraciones hacia el interior del yacimiento minero.

3.3.1.2 Intercepción de agua subterránea

En la mayoría de minas de la región central (San Cristóbal, Cerro de Pazco, Andaychagua, etc.) y sur del Perú, el agua subterránea debe ser controlada por medio del bombeo desde el subsuelo. Durante la operación de mina, el nivel freático debe mantenerse por debajo de las

labores mineras. Por lo general, esta actividad disminuye la napa freática hasta un grado en que la infiltración subterránea no es significativa en la mayoría de los componentes de la mina. Sin embargo, después del cierre, dado que la napa freática natural se restablece, el agua subterránea podría proporcionar un componente considerable de flujo en el asiento.

3.3.1.3 Reducción de Infiltración (Uso de cubiertas)

3.3.1.3.1 *Aspectos generales*

La fuente principal de agua que contribuye al transporte de contaminantes es, con frecuencia, **la infiltración de la precipitación**. Las cubiertas y sellos de baja permeabilidad constituyen el método más práctico para controlar la infiltración de precipitación. Estos pueden ser desde cubiertas simples de suelo, como morrena compactada, pasando por cubiertas de compuestos, que consisten en dos o más capas de suelo con diferentes grados de permeabilidad, hasta cubiertas sintéticas y cubiertas de agua.

Los materiales y la complejidad de una cubierta deben balancearse contra la reducción del flujo de agua que se requiere y la duración necesaria de control.

3.3.1.3.2 *Tipos de cubiertas*

a) Cubiertas simples de suelo

Las cubiertas simples se construyen con una sola capa de suelo y su instalación cuesta entre 2 y 6 dólares por metro cuadrado. Para reducir, la infiltración puede utilizarse un suelo de grano fino como arcilla, ciénaga o morrena.

Las velocidades de infiltración pueden estimarse mediante el uso del modelo HELP (Schroeder et al, 1984) o modelos de flujos saturado /

insaturado más sofisticados. La experiencia demuestra que las cubiertas simples pueden reducir la infiltración hasta un 50%, dependiendo del patrón de infiltración (es decir, mientras mayor sea la tasa de precipitación, mayor será el grado de escorrentía).

Se requiere un alto contenido de humedad para limitar el transporte de oxígeno a través de una cubierta.

Cuando el contenido de humedad aumenta hasta la saturación, el agua llena los espacios vacíos del suelo y la capacidad para transferir oxígeno se limita a la velocidad de difusión de oxígeno a través del agua de porosidad. Para los suelos saturados, el flujo de oxígeno puede encontrarse en ordenes de magnitud inferiores a los suelos parcialmente saturados.

Las cubiertas simples están sujetas al resquebrajamiento por desecación, como consecuencia de las grandes variaciones estacionales en el contenido de humedad, que pueden originar un aumento de permeabilidad. Además, los suelos de grano fino, necesarios para limitar la infiltración, pueden ser susceptibles al daño por heladas, erosión del viento y del agua, sedimentación, acción horadante de raíces y de animales, que también podrían aumentar la conductividad hidráulica y la infiltración a través del tiempo. Las cubiertas de una sola capa de suelo probablemente no reduzcan de manera suficiente la infiltración, como para disminuir la carga de contaminantes que emana del botadero.

b) Cubiertas complejas

La efectividad de una cubierta puede mejorar significativamente mediante la incorporación de varias capas con diferentes características. El diseño y composición de la cubierta determinan la permeabilidad de la misma al agua y al aire, así como el posible flujo que atraviese hasta la roca subyacente. Cada capa está diseñada para realizar una función

específica orientada a mejorar la exclusión del agua y oxígeno, a la estabilidad a largo plazo. Una cubierta está constituida usualmente de una combinación de los siguientes componentes:

- Capa de control de la erosión para proteger la superficie del viento y del agua
- Zona de retención de humedad para limitar la desecación de las capas subyacentes.
- Capa superior de interrupción de drenaje o succión para drenar el agua de la capa de infiltración y para evitar la pérdida de humedad de la barrera de infiltración.
- Barrera para evitar la infiltración del agua hacia abajo y la difusión del oxígeno; y barrera capilar inferior para prevenir la desecación de la barrera de infiltración y la succión del agua de porosidad contaminada hacia la cubierta, durante los períodos secos.

c) Cubiertas sintéticas

Se han desarrollado muchos materiales sintéticos como cubiertas impermeables (de muy baja impermeabilidad) en otras aplicaciones industriales, que ahora están siendo considerados en la industria minera. El tipo más común de estas cubiertas es una especie de geomembrana. Además, existen programas de investigación de otras cubiertas sintéticas, incluyendo los selladores asfaltos y por rociado así como los geopolímeros. Los selladores asfaltos de superficie y por rociado (asfalto, concreto, epoxi, poliéster, polisulfuro, silicona, caucho sintético, etc.) pueden, en teoría, aplicarse sobre una superficie adecuadamente nivelada y preparada, para formar una barrera contra la infiltración y la difusión de oxígeno.

Torcreto: El torcreto, con un aditivo de humo de sílice y un refuerzo de fibra de polipropileno, puede ser efectivo para controlar las

resquebrajaduras. La ventaja del torcreto es que se trata de un relleno relativamente barato y que puede aplicarse como cubierta para impregnar pendientes de roca u otras superficies cuyo recubrimiento podría resultar dificultoso mediante el empleo de otros métodos. El término “geopolímero” se utiliza para describir un compuesto de minerales, principalmente sílices, fosfato y oxígeno, que se unen para formar un producto de tipo cerámico. El uso efectivo del torcreto, como cubierta, depende de la estabilidad del material subyacente. Sin embargo, en la literatura no existen ejemplos de aplicaciones de largo plazo a gran escala de esta tecnología.

Geomembrana: La colocación de materiales geosintéticos como capas impermeables es una tecnología usada en años en aplicaciones como la lixiviación en pilas y relleno sanitario. En los últimos años, la industria minera ha considerado el uso de estas membranas “impermeables” como cubierta, contra la generación de ácido para limitar el flujo tanto de oxígeno como de agua (es decir, como control tanto de la generación de ácido como la migración de contaminantes).

La colocación de cubiertas puede complicarse por las dificultades que suponen las condiciones de las superficies y el acceso y estabilidad de las superficies sobre las cuales se colocarán. Estas dificultades, con frecuencia, hacen que un tipo particular de cubierta no sea funcional, o, prohibitivo, en términos de costos.

3.3.1.3.3 Condiciones específicas para el empleo de coberturas.

La rehabilitación de un área o depósito de materiales minero-metalúrgicos podría no requerir de ningún componente o de solo algunos o de todos los componentes y esto dependerá de los planes de cierre; del tipo de material que se va a mitigar y de las condiciones específicas para cada situación, así se tiene:

- Condiciones climáticas, que determinan la cantidad de

infiltración y el potencial de erosión del agua superficial.

- Características de los desechos, como las características físicas y químicas y la forma de la superficie de los desechos, las que determinan la necesidad de una cobertura e influyen en la cantidad y calidad de soluciones potenciales de lixiviación o rezumaderos. Las características físicas y la forma de la superficie también determinarán la necesidad de colocar algún relleno y/o capa de cimentación bajo la cobertura.
- El sistema de contención existente y su registro de rendimiento que determina la necesidad, si la hubiese, de una contención adicional y que también puede dictar la cantidad de control de infiltraciones que la cobertura debe brindar.
- Las características de las unidades geológicas subyacentes y las distancias hasta los cuerpos de aguas subterráneas y superficiales que afectan los riesgos potenciales a la calidad de agua, por consiguiente, el grado de preocupación ecológica que debe incorporarse en el Plan de Cierre.

La selección de los diferentes componentes para la cobertura y las especificaciones para los mismos, como tipo y grosor del material, tamaño, inclinación y métodos de construcción, deberán basarse en la combinación más efectiva en términos de costos de los componentes que cumplan con los objetivos de cierre y las metas de rendimiento.

3.3.1.3.4 Componentes básicos de las coberturas multicapas.

Información seleccionada por la EPA (Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos), 1989:

- Una capa superior que consiste de una capa de suelo con vegetación o reforzamiento a fin de minimizar la erosión y el transporte de los materiales de desecho a través del aire.
- Una capa de drenaje que minimiza la infiltración de agua dentro

de los desechos o la barrera contra la infiltración debajo de los desechos. Una capa de drenaje también evita la migración capilar ascendente inversa de soluciones contaminadas.

- Una capa formada por uno o dos componentes, que actúa como una barrera contra las infiltraciones y que limita la infiltración.
- Capas especiales, como barreras bióticas, con el objeto de evitar el daño que puedan ocasionar a la barrera contra la barrera de infiltración de raíces de plantas y de animales al construir sus madrigueras y capas de cimentación necesarias para sostener una cobertura y/o proporcionar la forma de la cobertura necesaria para controlar la escorrentía superficial y el drenaje interno.

3.4 Recolección y Tratamiento (Control Terciario). (7, 5)

El Control Terciario comprende actividades de recolección y/o manejo de los efluentes ácidos y/o de afluentes superficiales o subterráneos antes de la fuente de minerales sulfurados y por otro lado actividades relacionadas al tratamiento propiamente dicho del drenaje ácido.

La recolección y tratamiento del drenaje ácido es, a la fecha, la medida de control de drenaje ácido más usada. Ello se debe a que el drenaje ácido no fue inicialmente anticipado o adecuadamente controlado. La mayor parte de las minas activas y abandonadas de los Andes y Selva Alta del Perú podrían caer, desafortunadamente dentro de esta clasificación.

Antes de decidir por el tipo de tratamiento, primero es importante una caracterización previa del efluente, determinando los siguientes parámetros: pH, conductividad, densidad específica, acidez y análisis de los principales cationes metálicos. Por otro lado, debe conocerse sus

caudales y variaciones pluviales respecto al cambio estacional, además, variaciones con respecto a las operaciones que están involucradas con el DAR.

El proceso de tratamiento es de Neutralización Progresiva, donde un pH ácido = 2,0 es llevado a pH = 8.5. A medida que se va neutralizando se forman los hidróxidos de los cationes trivalentes, precipitándose, tales como el Fe^{3+} y Al^{3+} , luego continúan con los iones divalentes, como el Zn^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{+2} , Cu^{+2} , etc. A pH = 8.5 se tiene asegurado que la mayor parte de los cationes metálicos han precipitado formando sus correspondientes hidróxidos.

Conocidos los caudales y concentraciones de cationes, así como la acidez del medio, entonces se puede calcular la cantidad de neutralizante. Si existe caliza, ésta puede utilizarse al inicio de la operación de neutralización, si la reacción se hace lenta entonces hay que ayudar con cal, hasta el término de la neutralización. Como el neutralizante utilizado por lo general son carbonatos de calcio, entonces la solución va a contener altas concentraciones del catión Ca^{+2} .

Por otro lado, es importante determinar el tiempo de formación de hidróxidos de los cationes más importantes y su cinética de precipitación, toda esta información es necesaria para dimensionar las celdas de precipitación y prever la necesidad de uso de floculantes. Finalmente, dependiendo de los resultados que se logren, puede introducirse al sistema una operación de filtrado y otra de bombeo para las pulpas de precipitado, desde el punto ambiental es muy importante el destino de estas pulpas.

3.4.1 Recolección

El éxito de cualquier sistema de tratamiento depende de la capacidad para identificar, recolectar y controlar el flujo de toda agua contaminada. Se diseña un sistema para recolectar toda la infiltración y el drenaje y también para minimizar el volumen destinado al proceso de tratamiento. Ello significa que **toda corriente “limpia” será separada de la contaminada**, y no incluida en el flujo que va a la planta de tratamiento. La intercepción, para desviar el agua fresca de la toma donde se generan los contaminantes, es esencial para minimizar el volumen de flujo contaminante que puede ser generado en el asiento minero. El volumen de flujo a tratarse será minimizado y con ello, la capacidad de diseño requerida para la alternativa de tratamiento de aguas.

La recolección de escorrentía se logra mediante zanjado superficial. La recolección de flujos subterráneos puede requerir la instalación de surcos colectores, pozos hacia los cuales se descarga la pluma del contaminante. O bien muros interceptadores para forzar el flujo de agua subterránea hacia la superficie para su recolección y tratamiento.

El diseño de los sistemas de recolección es extremadamente específico para cada caso y puede depender de la ubicación del flujo contaminante, la topografía, cantidad y forma de la precipitación, geología e hidrología del lugar. Los sistemas de recolección están compuestos invariablemente por diferentes componentes que contribuyen a la eficiencia del sistema total de recolección. Entre ellos se puede mencionar:

- la intercepción para la derivación del agua fresca
- la recolección del flujo contaminado; y
- la capacidad de almacenamiento

El diseño de los sistemas tanto de intercepción (desviación) como de recolección dependerá de la descarga instantánea pico de estas tomas;

los períodos de retorno del diseño dependerán del riesgo determinado de descarga de una porción del efluente contaminado.

Dado que el diseño de plantas de tratamiento para descargas instantáneas pico es poco práctico, un sistema de almacenamiento para regular los flujos a la planta de tratamiento deberá formar parte integral de todo sistema de recolección.

3.4.2 Tratamiento de las aguas ácidas (9, 12)

Se puede clasificar las medidas de tratamiento ya sea como sistemas activos que requieren de una operación continua (una planta de tratamiento químico) o como sistemas pasivos diseñados para funcionar con solo la intervención ocasional de operadores (un pantano o una cuneta alcalina).

Existen dos tipos principales de sistemas de tratamiento del DAR:

- Los sistemas activos, que requieren de operación y mantenimiento continuo;
- Los sistemas pasivos, que se basan en el tratamiento “natural” y pretenden funcionar sin cuidado ni mantenimiento.

La tecnología demostrada para el tratamiento activo es el proceso de neutralización química (con cal). Se elimina la acidez de la solución mediante neutralización, los metales pesados precipitan en forma de óxidos, hidróxidos o sulfuros. Otros componentes nocivos, como el arsénico y el antimonio, se extraen por precipitación, el arsenato o antimoniato se extraen a través del uso del hierro férrico y aireación.

3.4.2.1 Tratamiento activo. (15, 5)

a). *Caracterización química.*

El tratamiento químico del DAR es una tecnología ampliamente conocida y aceptada. Por lo general, el tratamiento consiste en un circuito de neutralización química para extraer de la solución:

- la acidez por neutralización
- los metales pesados por hidrólisis y por precipitación
- otros contaminantes como sólidos suspendidos, arsenatos, antimonio por formación de un complejo y precipitación

El tratamiento químico puede utilizarse indistintamente para tratar diferentes fluidos sean estos sólidos, líquidos o gaseosos.

Los desechos sólidos pueden ser acondicionados mediante:

Lavado en contracorriente

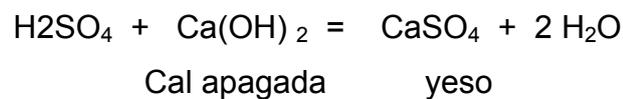
Lixiviación

Fijación

Solidificación

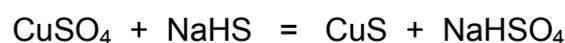
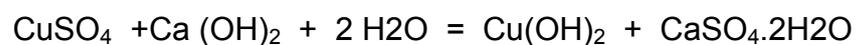
A continuación se presentan ejemplos de estos procesos:

Neutralización.

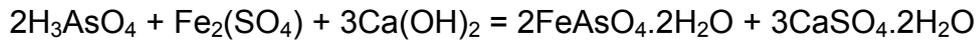


Eliminación de metales :

Precipitación como hidróxido o sulfuro



Precipitación de aniones con hierro férrico



Las opciones potenciales para el tratamiento químico de los desechos líquidos o aguas contaminadas incluyen:

- Neutralización y precipitación
- Oxidación o reducción
- Intercambio iónico
- Osmosis Inversa

b). Tecnología básica.

Las principales operaciones unitarias en una planta de tratamiento químico del DAR pueden ser:

- Poza de retención aguas arriba para el DAR
- Preparación de cal (hidratación, mezcla de pulpa)
- Una o dos etapas de neutralización por agitación
- Tercera etapa para la eliminación de otros metales o aniones
- Separación líquido / sólido
- Retención de solución de efluentes tratado para muestreo previo a la descarga
- Disposición de residuos.

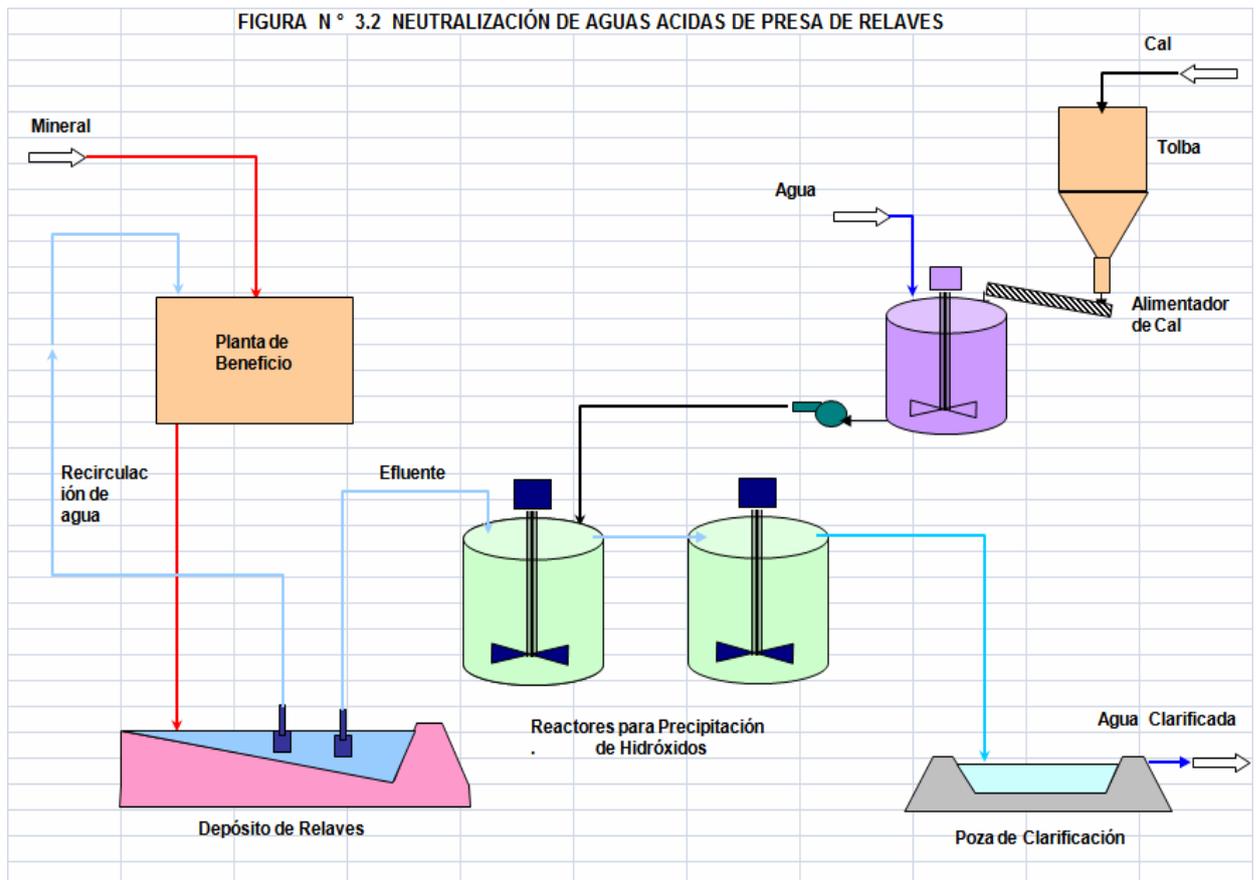
En la **Figura N° 3.2 y 3.3** mostramos los diagramas de flujos para el tratamiento de aguas ácidas y disposiciones finales.

Los agentes de neutralización más comunes son:

- Caliza (CaCO_3)
- Cal viva (CaO)
- Cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

La primera y tal vez, la segunda etapa de una planta de tratamiento usualmente consisten en la neutralización con cal en tanques de agitación. Se pueden utilizar otras bases en una segunda o tercera etapa para el tratamiento de metales seleccionados, entre ellos:

- Soda cáustica
- Ceniza de soda
- Hidrosulfuro de sodio
- Otros desechos con exceso de alcalinidad, incluyendo ceniza fina o relaves de planta concentradora.



Se debe tomar precauciones para utilizar otros desechos con el fin de asegurar que los metales solubles adicionales no sean añadidos al agua de drenaje. Además, se debe aceptar que el uso de desechos, como los

relaves, aumenta la masa total de sedimento producido por la planta de tratamiento y del cual deberá disponerse.

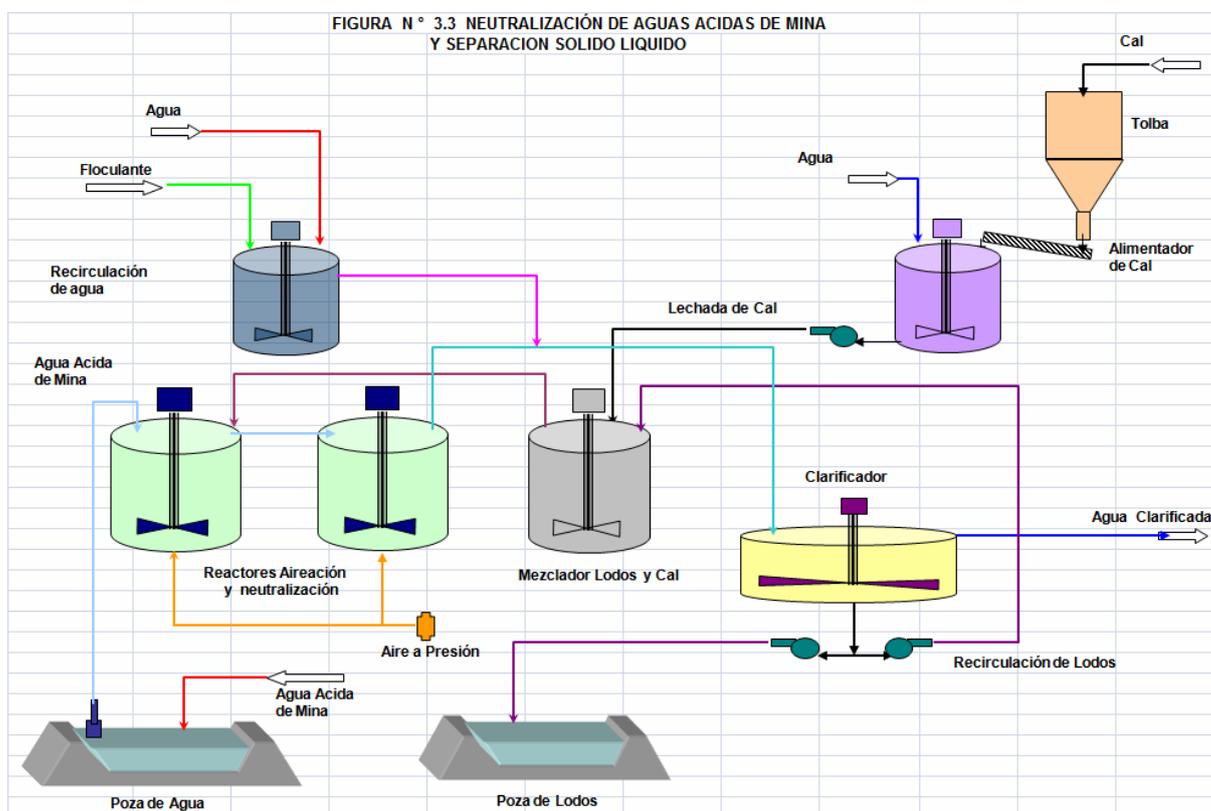
c). De la disposición de Lodos

Uno de los aspectos más difíciles del tratamiento químico es la descarga del lodo de las plantas de tratamiento. El proceso extrae acidez y metales por precipitación de óxidos e hidróxidos metálicos y yeso. Usualmente, existe lodo de grano fino que es de difícil filtración o sedimentación. Por lo común los lodos de la planta de tratamiento están constituidos por un 10 a 15% de sólidos por peso.

La práctica actual, en algunos asientos mineros consiste en incluir los lodos de la planta de tratamiento, con los sólidos de relaves alcalinos, o bien desecharlos en un área de depósito bajo el agua. En todo caso, la descarga de lodos constituye un área de investigación activa, que requiere de una cuidadosa planificación como parte del diseño de planta.

3.4.2.2 Tratamiento pasivo.

Mientras crece el nivel de aceptación con respecto al hecho de que no se puede efectuar una “retirada” en cada asiento minero, las obligaciones técnicas y financieras de mantener a perpetuidad una planta de tratamiento químico han aumentado el interés por desarrollar opciones efectivas de cuidado pasivo.



Uno de los avances más prometedores en el tratamiento del DAR es el reconocimiento del papel que cumplen los procesos naturales en la eliminación de la acidez, sulfato y metales de las aguas de drenaje ácido. La reducción biológica de sulfato ha sido identificada como uno de los principales contribuyentes a los procesos de mitigación de la calidad de agua en tierras húmedas. Se trata de reacciones que ocurren naturalmente y que producen alcalinidad, reducen los sulfatos y promueven la precipitación de los metales en solución en la forma de sulfuros metálicos. La reducción directa del sulfato a sulfuro de hidrógeno es producida por bacterias especializadas, estrictamente anaeróbicas, específicamente por dos géneros de bacterias: **Desulfovibrio** (cinco especies) y **Desulfotomaculum** (tres especies). Estas bacterias son organismos heterotróficos y tienen un metabolismo respiratorio en que los sulfatos, sulfitos u otros componentes reducibles de azufre sirven como aceptores finales de electrones, con la consiguiente producción de sulfuro de hidrógeno. Los substratos orgánicos de estas bacterias generalmente son ácidos de cadena corta, tales como el ácido láctico y el

piruvico. En la naturaleza, estos substratos se obtienen a través de actividades de fermentación con bacterias anaeróbicas sobre substratos orgánicos más complejos (tales como la putrefacción de vegetación en tierras húmedas).

La actividad de estas bacterias reductoras de sulfatos es importante no sólo debido a la producción de sulfuro de hidrógeno, sino también debido a la subsecuente interacción y precipitación de los metales y al aumento de alcalinidad. El sulfuro de hidrógeno reacciona fácilmente, por ejemplo, con cobre solubilizado a valores bajos de pH, para formar el sulfuro insoluble. De manera similar, la precipitación del zinc es posible siempre que existan condiciones adecuadas.

3.5 Algunos criterios para la selección de alternativas de tratamiento.

La selección de las opciones de control más factible técnica y económicamente implica un balance de las ventajas técnicas de la opción para mejorar la calidad del agua. El éxito de toda medida de control radica en su capacidad para controlar el DAR y para limitar el impacto ambiental adverso. La evaluación de las opciones alternativas de control deberá considerar:

- Efectividad
- Riesgo de fracaso
- Estabilidad a largo plazo
- Costo

En muchos casos, la evaluación de estos factores es materia de juicio antes que de análisis determinativo. Las evaluaciones cuantitativas y cualitativas se están convirtiendo en una herramienta cada vez más popular para determinar los efectos ambientales. Sin embargo, para la mayoría de situaciones, una simple determinación cualitativa puede servir para evaluar las opciones de control.

Se puede efectuar la mayoría de evaluaciones a través de la comparación de los siguientes factores:

- Funcionalidad o factibilidad técnica
- Durabilidad o longevidad
- Seguridad o riesgo de fracaso
- Impactos ambientales como consecuencia tanto de la construcción como de la operación
- Requerimientos y tiempo de construcción
- Requerimientos de inspección y mantenimiento
- Efectividad

Cada factor puede ser medido en un sistema simple de cinco puntos (bajo=1, medio, alto=5). La importancia relativa de los factores puede evaluarse; por ejemplo, en ciertas ubicaciones de acceso remoto, la longevidad y los requerimientos de mantenimiento constituirán factores significativos en la selección de una opción de control. Estos factores pueden compararse con los costos de cada alternativa para seleccionar la opción que proporcione el mayor beneficio por el costo más razonable.

3.6 Uso de materiales del entorno como coberturas.

3.6.1 Aspectos generales.

En el entorno del asiento minero e incluso los mismos materiales residuales, pueden ser utilizados como materiales de cobertura y que pueda cumplir con los objetivos de separar al agente oxidante del material sulfurado

Las características de los materiales deben ajustarse para el uso al cual van a ser destinados. Dentro de los principales materiales que se requieren como cubiertas, tenemos:

- Materiales ricos en álcalis,

Son capas especializadas para neutralizar la posible generación de drenaje ácido. Estos materiales con granulometrías pequeñas se adicionan sobre las superficies de los materiales con valores negativos del PNN. Estos materiales asimismo, requieren de una cubierta impermeable que ayude a encapsular a los materiales generadores de ácido.

- Cubiertas impermeabilizantes.

Las barreras impermeabilizantes tienen como objetivos evitar las infiltraciones de aguas superficiales hacia el interior y, en el mejor de los casos, actuar como barrera impermeable para la penetración del aire; de esta manera materiales ricos en piritas pueden estar reguarnecidos de una oxidación por el oxígeno del aire. Por otro lado, las capas impermeables también evitan la migración de aguas subterráneas hacia la superficie por capilaridad, de igual manera, el transporte de carga catiónica o la formación de ella se evitaría cuando se cuenta con una capa impermeable. Básicamente las capas de impermeabilización están constituidas por materiales arcillosos y estos deben comportarse de manera regular sobre toda la superficie.

- Lechos humectantes.

El uso de cubiertas impermeabilizantes requiere, en muchos casos, la protección de la sequedad, se puede lograr utilizando capas retensoras de la humedad, las que se colocarán sobre las capas de impermeabilización. Estos materiales deberán tener la suficiente porosidad para albergar suficiente agua; el grado de inclinación y la granulometría deberán fijarse en terreno, de tal manera, de controlar el drenaje de agua.

- Capas de refuerzos.

Cuando se usa capa de refuerzo, se recomienda que el material tenga las siguientes características:

- * Capaz de mantenerse en su lugar y minimizar su propia erosión y la del componente del suelo que se encuentre debajo, durante condiciones ambientales extremas de lluvias y/o viento.
- * Contener materiales duraderos con poca probabilidad de intemperizarse de manera significativa en un periodo prolongado de tiempo.
- * Capaz de servir al afianzamiento del material subyacente sin comprometer su rendimiento.

- Materiales de sostén.

Son aquellos que por su granulometría al ser apisonados ofrecen buenas propiedades de compactación; además, estos materiales también tienen propiedades de impermeabilización.

- Materiales de drenaje.

En zonas de mucha precipitación es importante contar con sistemas de rápido drenaje, de tal manera que las cubiertas queden protegidas de la erosión del agua. Gravas o fragmentos menores de 2" puede permitir un buen drenaje de las aguas de lluvia. Estas cubiertas de drenaje se complementan con los sistemas de canales de evacuación de las aguas de escorrentías.

- Lechos contra la erosión.

Son materiales granulares relativamente grandes que forman parte de las capas superficiales y cuyo objeto es proteger de la erosión a los suelos orgánicos y cubiertas vegetales por acción del viento y de las aguas de lluvia.

- Tierras orgánicas.

son aquellos materiales que tienen las composiciones adecuadas que permiten fácilmente el desarrollo de plantas.

- Cubiertas vegetales.

estas pueden variar dependiendo cual es el objetivo final que deben cumplir.

En el **Cuadro N ° 3.3** mostramos algunos materiales que pueden ser utilizadas como cubiertas, según Nolan Davis.

Dependiendo de lo que se desea cubrir, se puede utilizar los diferentes materiales en capas de diferentes espesores. A continuación mostramos un esquema que ilustra los diferentes modos de hacer una cubierta con material de roca normalmente existente en la zona, según Hutchison y Ellison (**Figura N ° 3.4**)

Las técnicas para su utilización es otra parte importante para alcanzar una cobertura óptima, dentro de los puntos más resaltantes que hay que tener en consideración para el diseño final se tiene:

- Forma del depósito y tamaño
- Taludes o ángulos a las paredes laterales
- Espesores del lecho
- Granulometría
- Reforzamientos
- Accesorios especiales como huecos para introducir materiales de control; salidas para ayudar a drenar soluciones de lixiviados y otros.

3.7 Uso de los lechos de cubierta para diferentes tipos de depósitos residuales.

3.7.1 Echaderos de material estéril.

Estos materiales normalmente provienen de suelos cuaternarios extraídos para ser reemplazados por materiales de sostén. Los valores de PNN son neutros o ligeramente positivos; por lo general tienen algunas propiedades agronómicas y requieren de simples cubiertas; debe cuidarse de darse a los echaderos estabilidad física

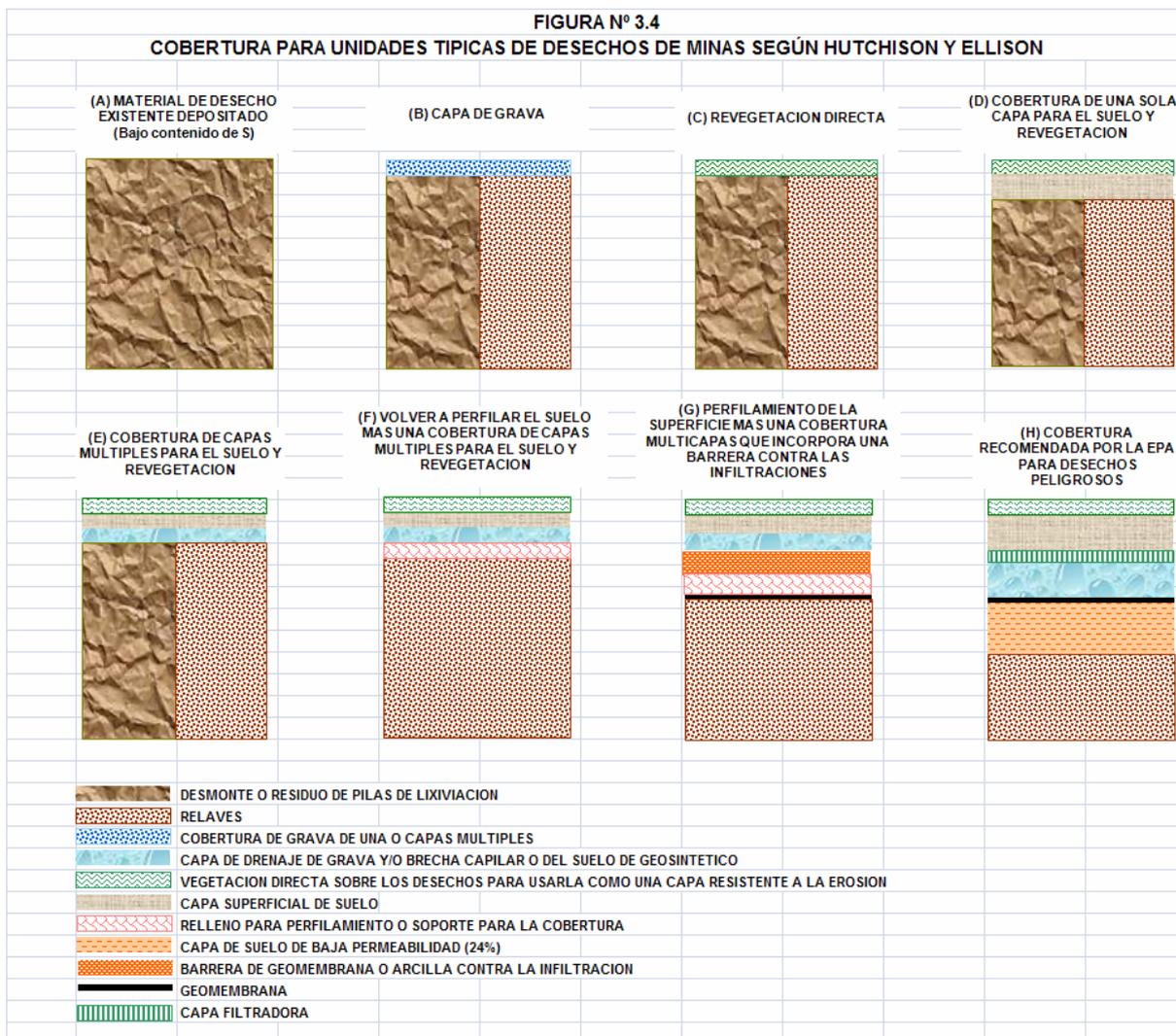
La cubierta más simple es una cubierta vegetal directamente. Si el suelo no tiene la capacidad de favorecer el desarrollo de las plantas, entonces se puede mejorar el suelo con material orgánico.

CUADRO Nº 3.3
MATERIALES ALTERNATIVOS PARA CUBIERTAS
(Según Nolan, Davis and Associates, 1987)

Material de cubierta	Permeabilidad al agua (m/seg)	Ventajas/Desventajas
Arcilla compactada	10^{-9} a 10^{-11}	Disponibilidad en gran cantidad Sujeta a erosión, resquebrajadura y penetración de raíces Buen sellado si se protege y mantiene
Morrena Compactada	10^{-7} a 10^{-9}	Igual que el anterior, pero generalmente más permeable.
Suelo superficial compactado	10^{-5} a 10^{-8}	Como el anterior, pero menos robusto, más permeable, longevidad?
Ciénaga Carbonosa	10^{-5} a 10^{-6}	Debe mantener saturación Impractico para botaderos elevados y pendientes laterales.
Concreto	10^{-10} a 10^{-12}	Sujeto a resquebrajaduras, heladas y daño mecánico.
Asfalto	10^{-20}	Como el anterior
HPDE sintético	Impermeable	Requiere un área adecuada y una cubierta protectora. Altamente impermeable Tiempo de vida < 100 años Sujeto a penetración mecánica

3.7.2 Botaderos de materiales estériles.

Estos materiales pertenecen a las cajas encajonantes de la zona mineralizada o son partes del material que se extrae del desarrollo de una mina. Su PNN es positivo y su granulometría variable desde fragmentos tan grande como 8" hasta partículas pequeñas. Estos materiales si se los apisona y se les da los ángulos de reposo convenientes son muy estables. Las cubiertas que requieren son simples y fundamentalmente se centran en las cubiertas finales, esto es de una buena cubierta orgánica y luego recubrimiento vegetal.

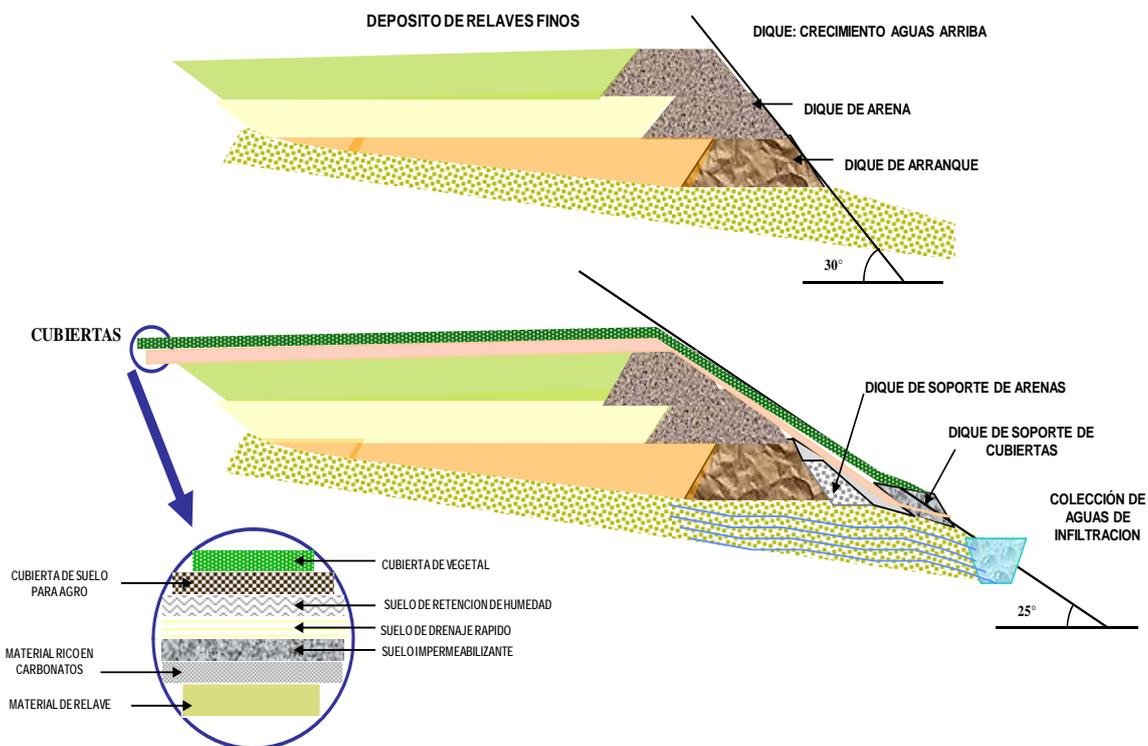


3.7.3 Depósitos de relaves antiguos.

Es muy importante caracterizar convenientemente estos depósitos. Primero veremos las condiciones de su estabilidad física; ángulos de taludes; tipo de materiales; presencia de aguas freáticas; sistema de crecimiento del dique, etc. Dependiendo de las condiciones anteriormente mencionadas, se hará la ingeniería necesaria para alcanzar la estabilidad física del cuerpo. En segundo lugar veremos las condiciones de la estabilidad química, es decir, veremos qué valores de PNN alcanzan. Por lo general son materiales con PNN negativo y mucho más negativos para los diques contruidos de los gruesos de los relaves previamente cicloneados. Estos materiales, además por tener una mayor granulometría y mayor área superficial relativa son más propensos para iniciar el drenaje ácido de roca.

Los tipos de cubierta para estos depósitos, una vez superado el control de la estabilidad física, requieren por lo general una primera cubierta de material rico en álcalis y de granulometría pequeña; luego son necesarios materiales de impermeabilización con el objeto de encapsular el depósito; una vez que se tiene la cubierta impermeable, existen varias opciones como adicionar una capa de protección con material granular; o colocar una capa que favorezca el drenaje de aguas superficiales; muchas veces sobre la capa de drenaje se puede acomodar un lecho filtrante y finalmente sobre estos lechos se termina con un lecho orgánico y una cubierta vegetal. En la **Figura N° 3.5** mostramos un esquema de remediación de un depósito antiguo de relaves, en el se observa que es necesario una remediación sobre estabilidad física (arreglo de taludes) y posteriormente un encapsulamiento del depósito utilizando diferentes capas superpuestas.

FIGURA Nº 3.5 ACTIVIDADES DE REMEDIACION PARA DEPOSITOS DE RELAVES ANTIGUOS



3.7.4 Depósitos para lodos sedimentables o residuos peligrosos.

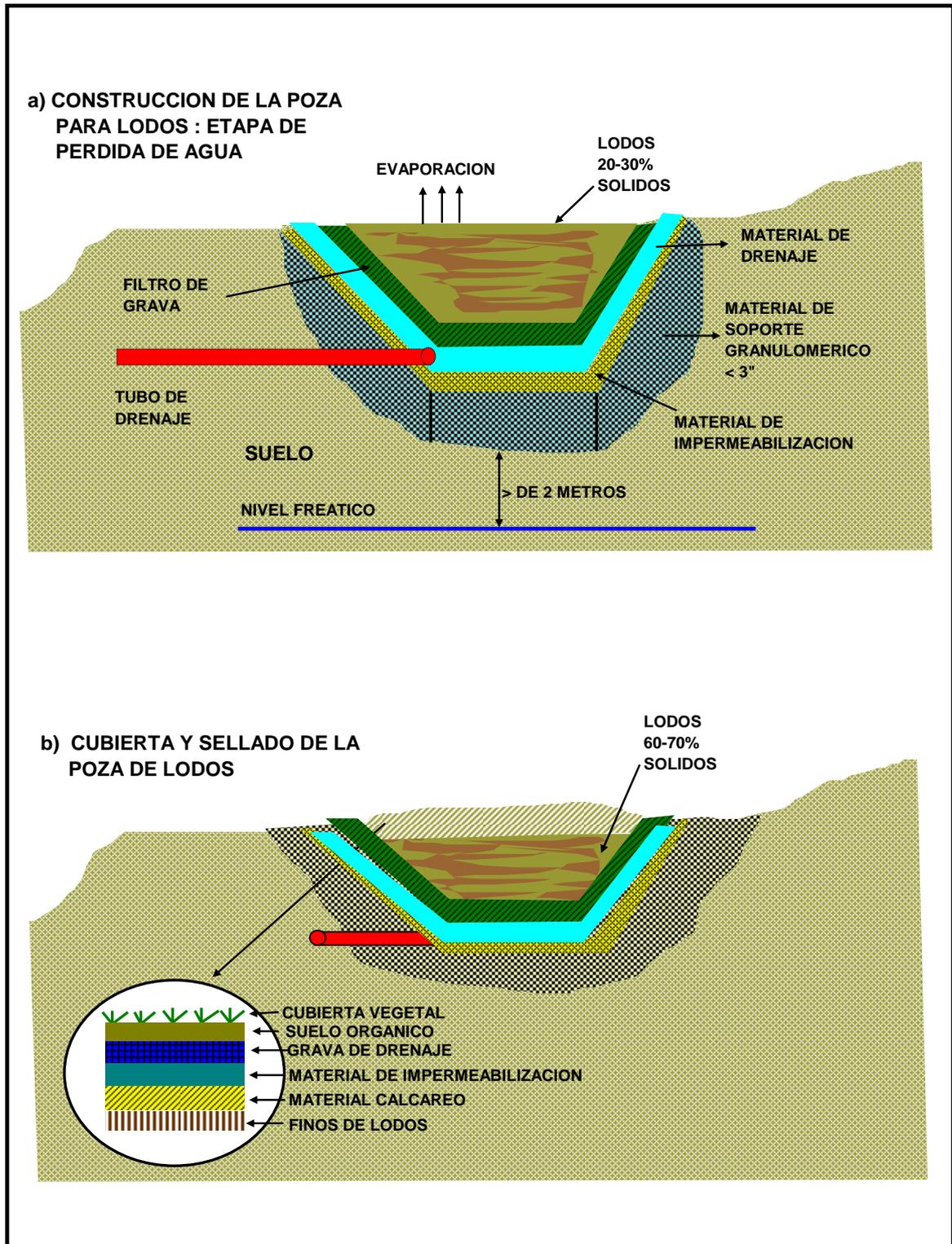
Estos materiales, en general tienen una alta capacidad de contaminación, como tal, es muy importante escoger el lugar, el que debe estar protegido tanto de aguas superficiales como subterráneas. En términos generales el depósito debe encapsular al material definido como peligroso, y desde un inicio se requiere de una buena preparación y un buen diseño tanto para su estabilidad física como las cubiertas necesarias para su estabilidad química. Una vez seleccionado el lugar y realizadas las excavaciones, recuperando los suelos superficiales, se inicia con lechos que hagan de barrera a las aguas subterráneas como tal se puede adicionar materiales impermeabilizantes o antes de ella una

de drenaje; si el suelo no es muy estable se recomienda reforzar todo el sistema con materiales de sostenimiento.; una vez que se cuenta con el lecho impermeabilizado, se puede agregar material de drenaje y de protección con el fin de drenar todo líquido que el material a depositarse aun contiene, si fuera necesario sobre el material de drenaje se puede adicionar un material de filtro para proteger el lecho de drenaje. Una vez terminado el depósito se deja por un tiempo adicional para permitir la máxima pérdida de agua. Una vez terminado el secamiento por evaporación y drenaje, se procede al cierre definitivo utilizando un sistema de capas similares a las anteriormente señaladas. El cierre definitivo comprende las cubiertas vegetales y la protección de las aguas superficiales, para lo cual se construye canales perimetrales para la protección de las lluvias. En la Figura N ° 3.6 mostramos diseños de encapsulamiento para lodos peligrosos, empleando un conjunto de capas superpuesta

3.8 Resumen sobre recomendaciones en el uso cubiertas de suelos.

- La experiencia en cada unidad minera en el uso de materiales de cubierta nos hacen reflexionar sobre la importancia del conocimiento de los materiales existentes en la zona, los que pueden ser usados como lechos de cubierta: Arenas, guijarros; calizas; arcillas, gravas; residuos orgánicos; etc.
- En toda remediación deberá siempre plantearse utilizar indistintamente tecnologías para un Tratamiento Primario, Secundario y Terciario.
- Los diseños de Cierre y Clausura para el Control de Drenaje ácido deben ser seguros y de alta durabilidad.
- Debe usarse métodos de control confiables para el monitoreo Post-Cierre y el periodo suficiente para determinar que no se esta produciendo drenaje ácido de roca

FIGURA Nº 3.6
CONSTRUCCION DE POZAS PARA LODOS



- Cada depósito o área disturbada tiene una manera particular para ser rehabilitada, dependiendo normalmente de los siguientes factores:
 - Tipo de material a proteger
 - Disposición de este material
 - Consideraciones fisiográficas donde está ubicado el depósito
 - Clima y meteorología (Hidrología, hidrogeología, temperatura, vientos, etc.)
 - Materiales existentes para cubierta.

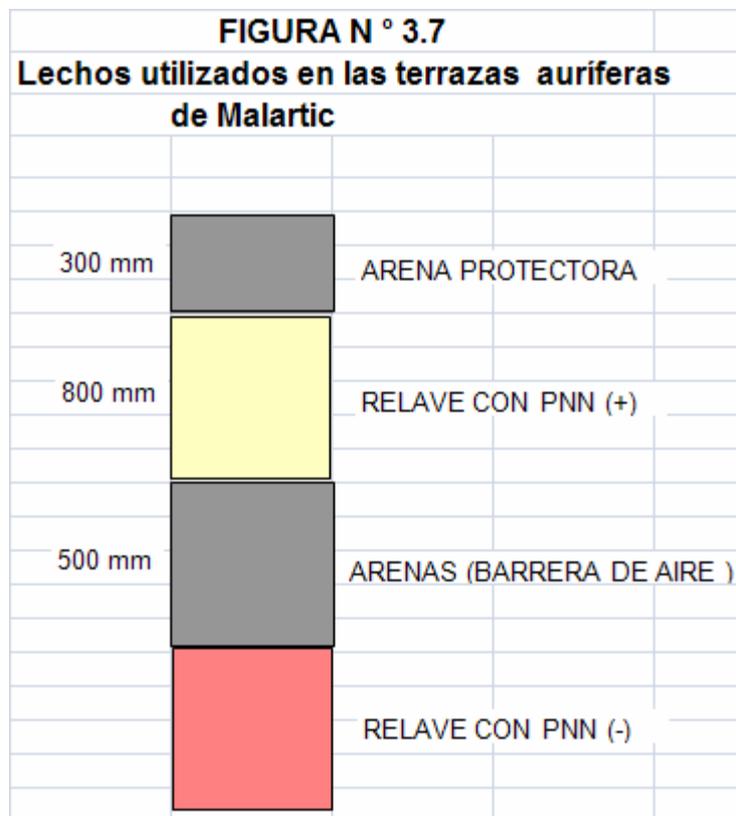
- Los tipos de materiales recomendables para realizar los diferentes tipos de cubiertas son:
 - Materiales ricos en álcalis (especialmente calizas) y en granulometrías pequeñas
 - Materiales arcillosos u otros que al ser compactados den alta impermeabilidad.
 - Materiales de drenaje
 - Materiales que retienen humedad
 - Materiales de cubierta para protección eólica
 - Materiales de cubierta para proteger la erosión e intemperismo
 - gravas o lechos filtrantes
 - Lechos orgánicos que favorezcan reacciones anaeróbicas
 - Cubiertas de suelos orgánicos
 - Cubiertas vegetales

- Otros modelos de cubiertas para el Control del Drenaje Ácido tenemos:

- La formación de una barrera de aire (capilaridad porosa) en un substrato de arena ubicado en el medio de dos lechos finos

humedecidos.(como ejemplo tenemos los lechos utilizados en Malartic (Ver Figura N ° 3.7)

- Uso de material vegetal de desecho como capa de control de difusión de oxígeno, gracias a las reacciones anaeróbicas.
- Uso de las mismas rocas minerales oxidadas (sin azufre) como cubierta compactada para resguardar materiales con contenidos de piritas.



En el Cuadro N° 3.4 se muestra una guía para el diseño de coberturas

**CUADRO Nº 3.4
GUIA DE DISEÑO PARA ELEMENTOS DE COBERTURAS**

Capa	Propósitos de la capa	Alternativas de capas	Grosor típico	Requerimientos generales
Capa de cierre	Reducir dispersión de desechos por agua superficial o transporte de viento	Granular en residuos de mina in situ.	Variable	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes y el material deberán ser estables y proporcionar una protección durable contra la erosión. • Perfilar la superficie para evitar concentración de escorrentía en áreas locales o el empozamiento de agua.
		Vegetación	No aplicable	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes y la vegetación deben ser estables y proporcionar protección durable contra la erosión. • La vegetación debe ser: <ul style="list-style-type: none"> · persistente · resistente a la sequía · adaptable a las condiciones locales · de raíz poco profunda
		Reforzamiento de la superficie con rocas.	0.15 a 1.15 m	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes pueden variar de 1.5% hasta el ángulo de reposo de la pila de desechos. • 2.5 cm nominales hasta cantos rodados de gran tamaño de aproximadamente 1 a 1.15 metros de diámetro. • Tamaño y grosor de capa de reforzamiento de la mina para apoyar parcialmente el crecimiento vegetal.
Apoyar crecimiento de la vegetación.	Suelo	0.15 a 0.6 m.	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes pueden variar de un mínimo de 1.5% a 50%. • El grosor requerido dependerá del tipo de vegetación, el uso final del área rehabilitada y la compatibilidad de los desechos subyacentes de la mina para apoyar parcialmente el crecimiento vegetal. 	

Capa de drenaje	Reducir percolación y daño a la barrera contra la infiltración. Evitar la elevación capilar ascendente de líquidos desde los desechos subyacentes.	Arena o grava.	0.3 a 0.6 m.	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes van 1.5% hasta un máximo controlado por consideraciones de estabilidad. • Capacidad adecuada para manejar por lo menos cinco veces la velocidad de infiltración anticipada a través de la capa de encima. • La capa deberá incluir un drenaje de grava en la base o su equivalente para alejar los flujos del drenaje de la unidad de manejo de desechos. • En algunos casos, podría ser necesario colocar un filtro de tierra o de geotextil sobre la capa de drenaje para evitar que materiales finos lo atoren.
		Geotextiles, Geoparrillas, Geored	Variable (30 a 150 mills).	<ul style="list-style-type: none"> • El rendimiento deberá ser equivalente al de la capa de arena o grava de encima.
Capa barrera contra la percolación	Reducir infiltración hacia los desechos	Geomembrana	20 a 60 mills	<ul style="list-style-type: none"> • Los taludes van de 1.5% hasta un máximo controlado por consideraciones de estabilidad.
		Suelo con una baja conductividad hidráulica.	0.3 a 0.6 m.	<ul style="list-style-type: none"> • La conductividad hidráulica va de 10^5 cm/seg 10^7 cm/seg dependiendo de las necesidades específicas del lugar. • Deberá estar ubicada debajo de la zona helada.
Capa especial	Reducir drenaje hacia barrera contra la infiltración.	Barrera biótica.	0.3 a 0.9 m.	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales gruesos como grava gruesa, guijarros, etc.
		Capas de cimentación	Mínimo 0.6 m hasta decenas de m. como se requiera, para control de drenaje y perfilamiento de la superficie.	<ul style="list-style-type: none"> • Con frecuencia se les puede construir a base de desechos de mina como fracciones de relaves gruesos centrifugados, mineral agotado o desmonte. • Estas capas podrían requerir compactación a fin de garantizar un adecuado soporte para las capas de cubierta de encima.

3.9 *Fuerzas disruptivas perpetuas: Consecuencias y Tecnologías de Control.*

En el campo del control de la estabilidad física química del suelo es necesario tener en consideración todos aquellos aspectos relacionadas con las fuerzas de parámetros medioambientales que tienen un efecto en la estabilidad de los suelos, dentro de los más importantes se tiene la erosión del suelo por escorrentías superficiales; cambios de la topografía por la presencia de deslizamientos importantes del suelo, los efectos de la erosión eólica en el suelo, Precipitación de sales, presencia de escarchas, deslizamientos de morrenas, etc.

En el **Cuadro 3.5** (7) se describe las principales fuerzas disruptivas perpetuas, las consecuencias que ellas originan y las posibles tecnologías de control.

**CUADRO Nº 3.5
FUERZAS DISRUPTIVAS PERPETUAS: CONSECUENCIAS Y
TECNOLOGIA DE CONTROL (7)**

Fuerza Disruptiva Perpetua	Consecuencia	Tecnología de Control
Erosión eólica	Principal mecanismo de descarga de depósitos de relaves expuestos.	<ul style="list-style-type: none"> • Corto plazo, estabilización química • Largo plazo, establecer y mantener cubierta vegetal de desmonte o morrena.
Erosión hídrica	ocurre durante situaciones extremas de precipitación e inundación.	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación, hielo, crecimiento vegetal, obstrucción por escombros son difíciles de evitar, requiere de limpieza y mantenimiento. • Diseñar estructuras de desviación que contemplen situaciones extremas. • Uso de agregado de rocas pesadas.
	Erosión por impacto de la lluvia y por deslizamiento del agua en superficies de depósitos, coberturas y presas.	La experiencia hacía que por lo general, se requiere de taludes más planos que 3H a IV para resistencia a la erosión y asentamiento de la vegetación.
	Erosión por torrentes causa principal de inestabilidad de superficie de depósitos, coberturas y presas.	Agregado de rocas.
Precipitación de sales	Malogra el sistema de drenaje	
Acción de la escarcha	Causa principal de inestabilidad a largo plazo de relaves y las estructuras que los contienen.	No existe tecnología de control específica, los diseñadores y proponentes deben estar conscientes de las consecuencias y tomarlas en cuenta al considerar planes de cierre.
Acumulaciones anuales de hielo	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueo de estructuras de desviación y dispositivos de salida. • Congelamiento de drenajes en presas origina falla de taludes. • Congelamiento de relaves depositados puede dar lugar a grandes sedimentaciones después del cierre y agrietamiento de coberturas 	
Penetración Estacional de la Escarcha	<ul style="list-style-type: none"> • Modifica estructuras de relaves (suelo), incrementa permeabilidad. • Levantamiento producido por la escarcha 	
Lixiviación Físico/Química	Descomposición o disgregación de partículas de roca intactas.	<ul style="list-style-type: none"> • Efectuar pruebas de laboratorio para evaluar la descomposición de rocas usadas para estabilidad a largo plazo en estructuras permanentes sólo usar rocas no susceptibles a intemperismo.
Actividades Biológicas		
Penetración de las raíces que generalmente tiene un efecto	<ul style="list-style-type: none"> • Las raíces podrían penetrar drenajes y atorarlos. • Penetran capas de baja permeabilidad, se pudren y 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener drenajes inundados. • Uso de drenajes más grandes con espacio vacío extra.

beneficioso sobre las coberturas.	proporcionan canales para el aire o el rezumadero.	
Intrusión de animales al construir sus madrigueras.	La construcción de madrigueras a lo largo de la línea freática en material fino podría ocasionar fallas en tuberías.	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo y mantenimiento. • Uso de materiales que los animales no puedan penetrar.

CAPITULO IV

SISTEMA DE GESTION AMBIENTAL

4.1 Introducción

El Sistema de Gestión Ambiental (SGA) propuesto es el de las mejoras continuas (ISO 14000), está constituida por 5 etapas y en cada de una de ellas conformadas por un conjunto de requisitos. El desarrollo de las etapas en forma ordenada configura un esquema helicoidal de las mejoras continuas.

La primera etapa son las Políticas Ambientales (requisito 1), como tal, en las políticas ambientales de la Empresa debe indicarse como un postulado específico sobre el control del DAR. La siguiente etapa es la Planificación, luego la implementación y operación; una cuarta etapa está constituida por la verificación y acciones correctivas; la quinta etapa y última es la revisión por la Alta Dirección, cuyos resultados van a incidir directamente en el ajuste, o modificación de la política ambiental, de tal manera de que se continua con el sistema pero ahora en un plano superior logrando una mejora.(11)

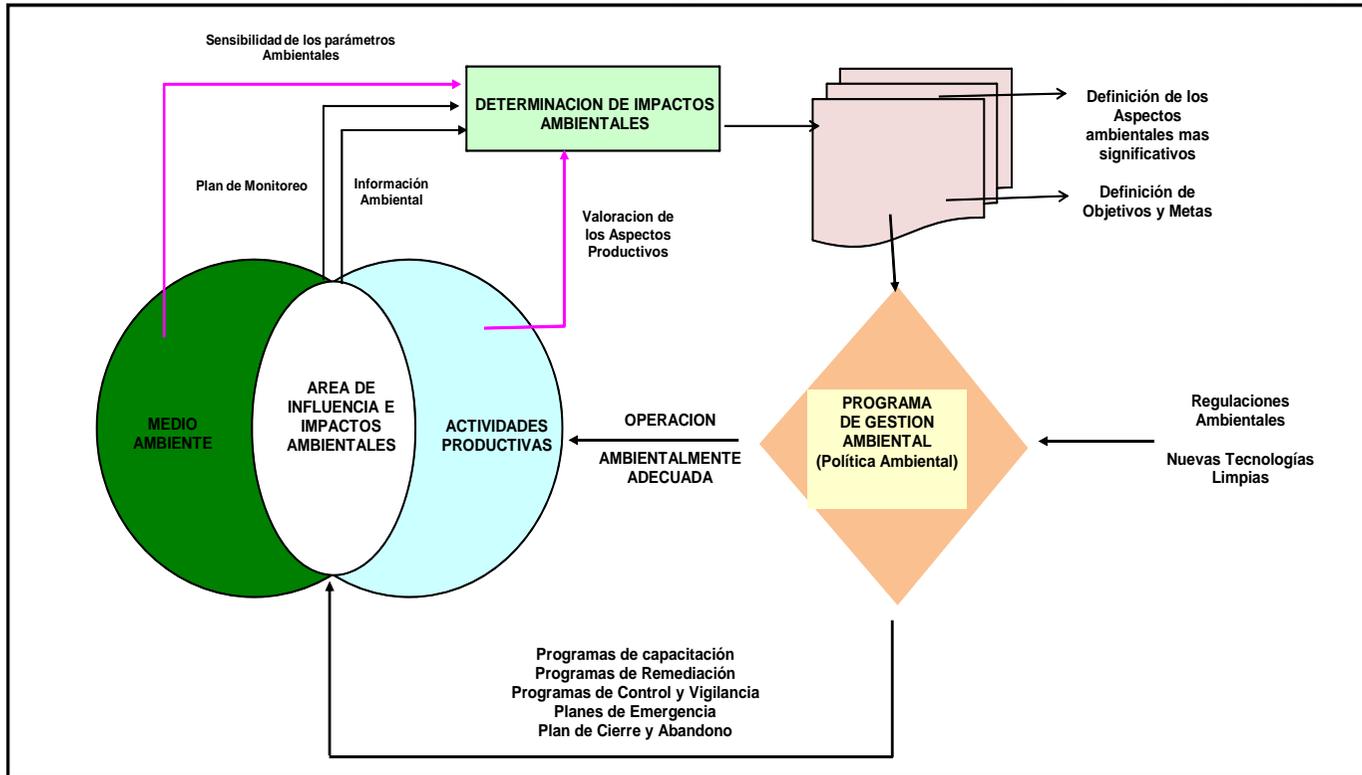
Es muy importante para que se dé, en forma objetiva, el desarrollo de un SGA que estén siempre presente y de manera activa todos los elementos que intervienen en el SGA (Organización, Planificación, Definición de responsabilidades, Recursos, Procedimientos, Prácticas operacionales reconocidas, etc.). Así como los elementos de Ejecución y Supervisión (Desarrollar, Implementar, Controlar, Revisar, Cambiar, etc.): Todos estos elementos forman parte de los requisitos del SGA identificados en 17 requisitos los cuales están contenidas en las 5 etapas anteriormente mencionadas.

En la Figura Nº 4.1 se muestra, de manera combinada, cómo los diferentes requisitos del SGA forman parte de las actividades productivas

interrelacionadas con el medio ambiente y que, en su conjunto, están dirigidas a minimizar un posible impacto ambiental

Para efectos de la aplicación del SGA al drenaje ácido de roca se dará mayor importancia a los requisitos que están directamente involucrados con el DAR. Así por ejemplo: Incluir dentro de las políticas el requerimiento de controlar todo sulfuro que ha sido modificado o trasladado de su situación natural; de la misma manera, aplicar ese objetivo, en las diferentes etapas del SGA y en sus diferentes requisitos. Temas relacionadas a la determinación del Potencial de Drenaje ácido de roca, aplicada a los diferentes materiales que se esperan de las actividades minero- metalúrgicas; el tema eje es la determinación y evaluación de los Aspectos Ambientales y selección de los más significativos; a partir de aquí se desarrollan o activan todos los requisitos del SGA, como todos los procedimientos de prevención y mitigación del DAR

FIGURA N° 4-1
PLAN DE MANEJO AMBIENTAL EN EL MARCO DE LAS MEJORAS CONTINUAS



4.2 Criterios para la identificación y evaluación de los Aspectos ambientales: Potencial de Drenaje Acido y Niveles de riesgo ambiental

La aplicación del sistema de gestión ambiental tendrá como guía 2 temas centrales, el primero relacionado al problema del drenaje ácido y el segundo los niveles de riesgo ambiental, los cuales estarán, incluidas en las políticas a definirse para el manejo del DAR.

Drenaje ácido de roca

Este tema comprende básicamente las siguientes etapas:

- identificación de los materiales con alto potencial de generación ácida;
- identificación de las condiciones de generación de DAR,
- identificar las condiciones de migración de los contaminantes,
- identificación de los entes receptores, entre los mas importantes.

Identificación de los posibles riesgos Ambientales

Con respecto al riesgo ambiental este puede definirse como la capacidad del cuerpo receptor (personas humanas, animales, plantas y cuerpos de agua) de no tolerar los niveles de contaminación, ocasionando un deterioro de la salud o del ambiente por efectos de los contaminantes

Para la identificación de los posibles riesgos ambientales, es necesaria la conjunción de los siguientes elementos:

- Sensibilidad del cuerpo receptor, relacionada a la posibilidad de que personas animales o plantas se encuentran potencialmente afectadas por un determinado contaminante,

sea por la cercanía o por la presencia de factores que coadyuven a una posible contaminación.

- Agresividad del contaminante, definido como cuan grande es el contaminante y su capacidad de extenderse fácilmente hacia el entorno inmediato.
- Medios de transporte existentes, capaces de comunicar al agente contaminante con el ente receptor; los medios de transporte más comunes son los flujos de agua superficial y las corrientes de viento

4.3 Etapas y requisitos del SGA aplicada al DAR (11)

4.3.1 Políticas Ambientales (requisito 1)

Representa la primera etapa y el primer requisito de todo Sistema de Gestión Ambiental. La política en temas ambientales y específicamente para el control del DAR, está relacionada a,

- Evitar que se desarrolle el DAR y minimizar el riesgo ambiental.
- Otro postulado de la Política es el compromiso del manejo del DAR de conformidad con las normas ambientales
- Compromiso de alcanzar una mejora continua, además
- Compromiso en la prevención de la contaminación

Para cumplir con el primer postulado de la política ambiental es necesario los siguientes objetivos sin ser estas limitativas:

- evitar que los materiales con alto PNN negativos se expongan en un ambiente de oxidación y en medios acuosos.
- controlar los medios que permite la oxidación (aire) y la disolución (Agua).
- control de los efluentes con presencia de ácido y carga catiónica;
- conocimiento del comportamiento de los entes receptores.

4.3.2 Planeamiento

4.3.2.1 Aspectos Ambientales (requisito 2)

Representan la 2da etapa del SGA y está conformada por un conjunto de requisitos. El primero de ellos es la identificación de los Aspectos Ambientales (requisito 2) de las actividades Minero Metalúrgicas que para nuestro caso está representado por tres grandes áreas que se presentan en el desarrollo de una unidad minera y que son sectores potenciales de generación de drenaje ácido; ellos son;

- El área donde se desarrolla el sistema de minado, incluye cómo va quedando las superficies de las rocas expuestas al medio ambiente, incluye la presencia de agua de mina
- Un segundo caso está relacionado a los botaderos de materiales de mina
- Los residuos metalúrgicos de la planta concentradora, constituidos los relaves, los que normalmente son confinados en la presa de relaves.

El procedimiento para la identificación de los aspectos ambientales es la aplicación de los diagramas de balance de masas a los tres casos identificados líneas arriba.

Luego se desarrolla un procedimiento para evaluar el grado de importancia del aspecto/ impacto, además de los niveles de riesgo ambiental, de esta manera se selecciona los aspectos ambientales más significativos (AAS) que debe reunir estas tres condiciones:

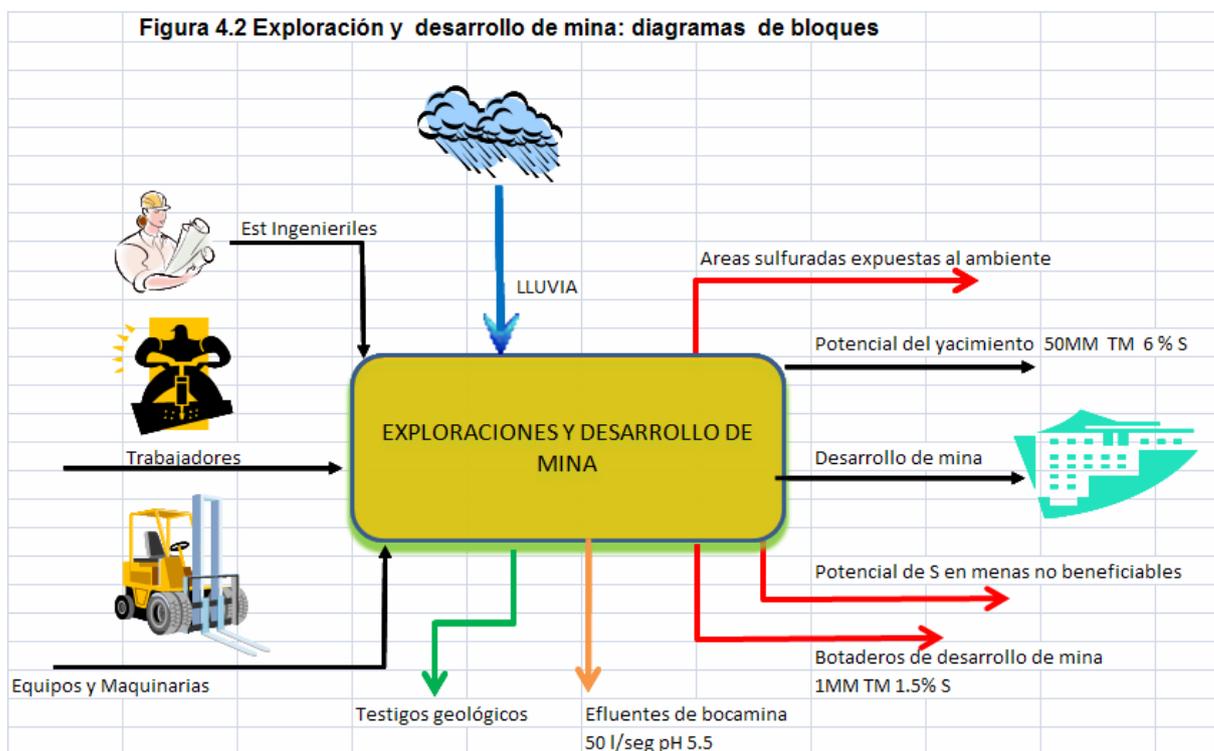
- La evaluación debe determinar que la actividad puede generar un impacto muy importante o severo
- Debe tener un alto riesgo ambiental y riesgo a la salud de las personas

- La Empresa debe asegurar su capacidad de minimizar tanto el efecto contaminante, como el de riesgo ambiental

4.3.2.2 Identificación de los aspectos Ambientales en el DAR

Los aspectos ambientales serán identificados tomando como base los balances de masas para lo cual recurriremos a los diagramas de bloques, para las siguientes instalaciones que son comunes en las actividades minero metalúrgicas:

Exploración y desarrollo de mina: diagramas de bloques. En la figura N° 4.2 se muestra el diagrama de bloque para las actividades de exploración y desarrollo de mina.

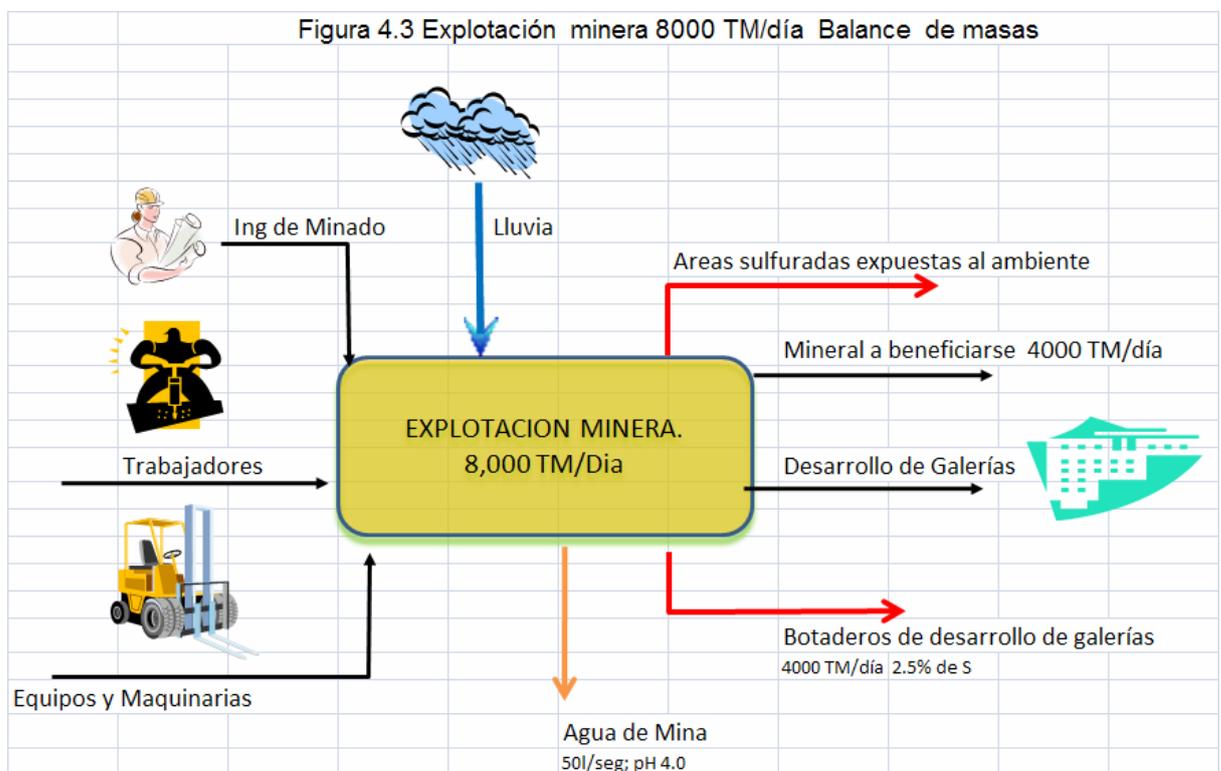


Los Aspectos Ambientales identificados para la etapa de Exploraciones y desarrollo de mina son los siguientes:

- Potencial de azufre en menas no beneficiables a extraerse

- Botaderos de desarrollo de mina
- Áreas sulfuradas expuestas al ambiente
- Efluentes de mina

Para el caso de la actividad de explotación minera de la misma manera se determinan los aspectos ambientales en base a su correspondiente diagramas de bloques Figura N^a 4.3



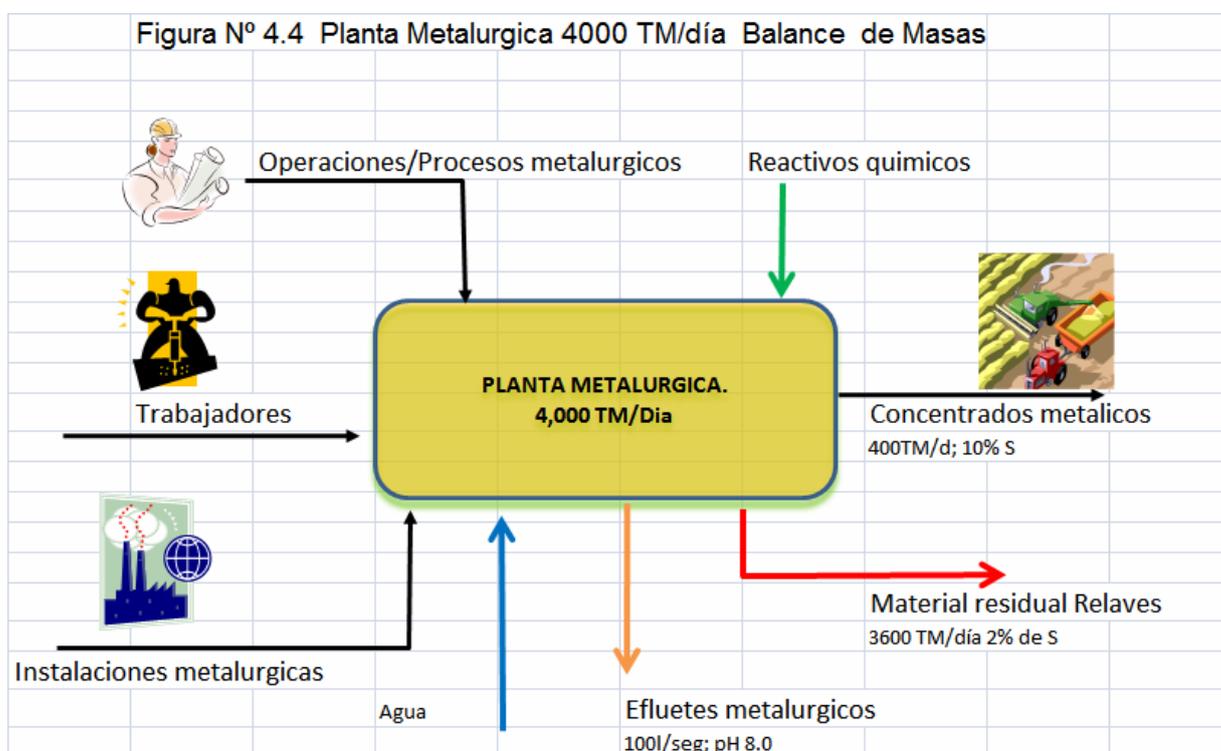
Los Aspectos Ambientales identificados para la etapa de explotación minera son los siguientes

- Botaderos de desarrollo de galerías
- Áreas sulfuradas expuestas al ambiente
- Agua de Mina

Finalmente mostraremos los aspectos ambientales correspondientes a las actividades metalúrgicas Figura N^a 4.4

Los Aspectos Ambientales identificados para la etapa de planta metalúrgica son los siguientes:

- Material residual Relaves
- Efluentes metalúrgicos
- Requerimientos de agua
- Usos de reactivos químicos



4.3.2.3 Valoración de los Aspectos Ambientales en la magnitud del DAR

Existen varios mecanismos de valoración de un aspecto ambiental y normalmente obedecen a cumplir un objetivo, para tal efecto se selecciona un conjunto de criterios y rangos de valoración. Para esta primera etapa el objetivo es identificar cual de los AA es potencialmente más peligroso (se va a medir la magnitud del AA), como tal interesa como criterio medir el grado de su intensidad

expresada en los valores que alcance su potencial neto de neutralización (PNN),o relación PN/PA , otro criterio es la cantidad de material comprometido en el DAR, a este criterio se le denomina de Extensión y finalmente el criterio de Permanencia; con estos tres criterios nos acerca rápidamente de cuan peligroso es el material que se está evaluando.

Un arreglo final a la valoración son los criterios de rango y para este caso se tomará como base rangos del 1 al 8 (Resultado de una variación exponencial de base 2: 2^n donde n puede ser 0,1,2 y 3; el valor 0 represente la ausencia o muy bajo, el valor 1 es bajo; el valor 2 es medio y el valor 3 es alto).

Para el caso de que un criterio es más importante que otro, entonces se le pondera en las unidades que sean necesarias y que justifique el nivel de importancia de ese criterio. En el Cuadro N° 4-1 se muestra una valoración de los aspectos ambientales identificados anteriormente en las 3 principales actividades mineras.

Cuadro N° 4.1 Valoración de los Aspectos ambientales (Extensión Intensidad y temporabilidad)									
Supuestos: PN estimado en 100 Kg CO3Ca/TM de mineral: Intensidad con ponderación 2; Extensión con 1 y temporab con 0.5									
	Extensión (1)		Intensidad (2)			Temporabilidad(1)		Puntuación	
		Rango	% de S	PA	PNN-20	Rango	años		Rango
Exploración y desarrollo de Mina									
Potencial de S en mena no beneficiable	50MMTM	7	6	189	-109	5	50	6	20
Botaderos de desarrollo de mina	1MM	5	1.5	47.25	32.75	1	>100	7	10.5
Areas sulfuradas expuestas al ambiente	30,000M2	4	5	157.5	-77.5	4	>100	7	15.5
Efluentes de bocamina	50 l/seg	3.5		pH 5.5		4.5	<20 años	4	14.5
Explotación Minera									0
Botaderos de desarrollo de galería:	1.5MM	5.5	2.5	78.75	1.25	1.5	>100	7	12
Areas sulfuradas expuestas al ambiente	50,000M2	4.5	5.5	173.25	-93.25	4.5	>100	7	17
Agua de Mina	50 l/seg	3.5		pH 4		5	<20 años	4	15.5
Planta concentradora									0
Material residual Relaves	7200000	6.2	2.4	75.6	4.4	1.3	>100	7	12.3
Efluetes metalurgicos	100 l/seg	5.5		pH 8		0.5	<20 años	4	8.5

Los resultados indican que deberá ponerse mayor atención a los aspectos ambientales siguientes

- Potencial de azufre en menas no beneficiable
- Áreas sulfuradas expuestas al ambiente en etapa de minado botaderos
- Áreas sulfuradas expuestas al ambiente en etapa de procesamiento de minerales. Presa de relaves
- Efluentes de agua de mina

4.3.2.4 Valoración de los Aspectos Ambientales en la posibilidad de generación de DAR

En el punto anterior se hizo una valoración del potencial de generación de drenaje ácido; en la presente valoración no solo se mide el potencial de generación de ácido, sino la posibilidad de que este se desarrolle y más adelante no solo el desarrollo sino el nivel de riesgo ambiental que represente.

Como resumen, en esta segunda valoración se siguen los siguientes pasos

- Determinación de los criterios asumidos y que son los siguientes:
 - PNN o PN/PA
 - Cantidad de material
 - Área específica de reacción
 - Exposiciones al aire
 - Presencia de agua Precipitación anual
 - Efectos de cinética
 - Permanencia
 - Acceso de tecnologías de remediación

Si se desea hacer una determinación aun más detallada se analiza otros parámetros como el comportamiento de la relación PN/PA; La cantidad de material que se encuentra ya en estado solubilizado; Los tipos de minerales metálicos que acompañan a la muestra, esto nos permitirá proyectar los posibles cationes que formarán las aguas ácidas, cantidad de reacción Q_r , definida como la suma de $PN + PA$

- Ponderación de los criterios asumidos, pues no todos tienen el mismo valor, algunos de ellos tienen que ver directamente con el asunto del DAR y sus rangos extremos son determinantes; así por ejemplo un PNN positivo debe tener como valoración cero, de tal manera, que por más que los otros criterios tengan valores enteros y positivos, al contar con un factor cero, el resultado es cero, o sea que no existe posibilidad de generación ácida
- Determinación de los rangos en base a los límites borde. De manera general los rangos van desde el más alto con calificación 8 al más bajo que puede ser 1 o cero
- En el Cuadro N° 4 02 se muestra el cuadro de valoración (Criterios, ponderación y rangos, y además con un ejemplo la valoración de un dique de una presa de relaves

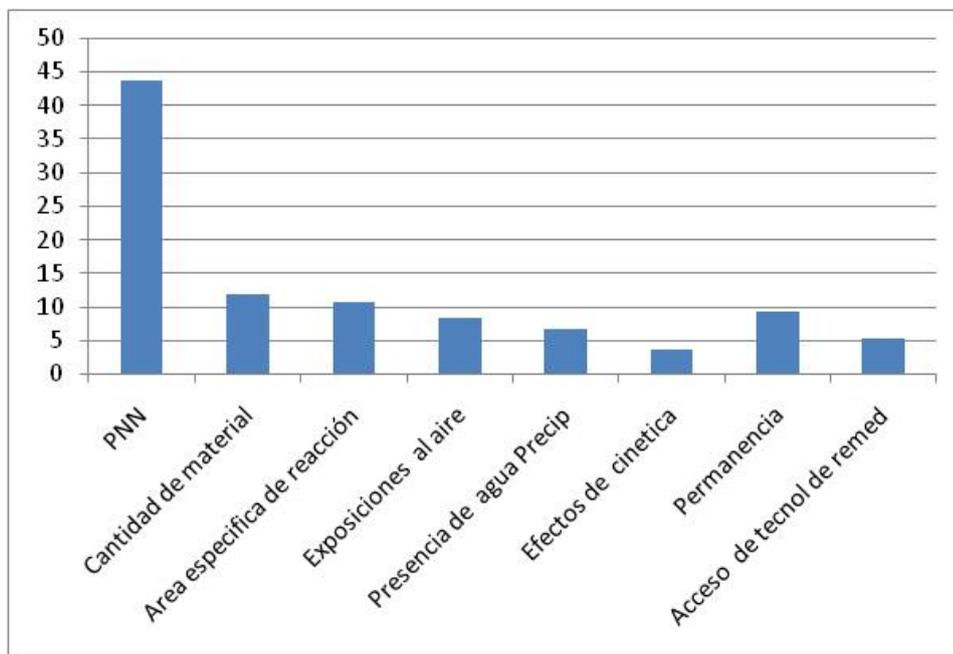
El Cuadro 4 - 02 ilustra varios resultados, sin embargo, los dos más importantes son los siguientes:

Valor promedio del impacto con 3.47 prácticamente tiene una valoración de mediana importancia, este valor se compara con las valoraciones de otros materiales y dependiendo de los valores que cada quien obtenga, los más altos constituirán los AAS

Otro de los resultados es la participación de los criterios en la evaluación. Para este caso dio una valoración de 74.86, este dato se correlacionará con los valores de otras valoraciones. En la figura N° 4.04 se muestra la participación de cada criterio.

Cuadro N° 4-02 Valoración de un Aspcto ambiental; Dique de una presa de relaves								
		Ponderac					Valoracion	
		Individ					V con Pond	
	Sustrato a ser evaluado	Acumulat				Dique de presa de relaves	% de partic	
1	Potencial Neto de neutralización		> -1000	> -200	> -40	POSITIVO		3.2
	PNN = PN-PA	3	8	4	2	0	PNN = -120 Kg de CO3Ca/TM	32.768
	Valorac del 8 al 1	3	512	64	8	0		43.7690323
2	Cantidad de material		> 1MM	>100M	>10M	>1000		3
		2	8	4	2	1	50000 TM	9
		5	64	16	4	1		12.0215238
3	Area especifica de reacción		Arena poroso	Particulado granular	Roca >4"	Roca >40"		4
	Tamaño de grano	1.5	8	4	2	1	Particulado granular	8
		6.5	22.627417	8	2.82842712	1		10.6857989
4	Exposiciones al aire		Superficie aireada	Exposición directa	Exposición indirecta	Impermeable		3.4
	Directa a impermeable	1.5	8	4	2	0.5	Espuesta directamente la capa superficial e indirecta el interior	6.26929023
		8	22.627417	8	2.82842712	0.35355339		8.37404683
5	Presencia de agua Precip		> 1500 mm/año	>750 mm/a	>350mm/a	< de 50mm o nula		5
	Valoración de 8 a 1	1	8	4	2	0	900mm/año	5
		9	8	4	2	0		6.67862431
6	Efectos de cinetica		No menor de 3 factores	2 factores	1 factor	Ningun Factor		2
	Temperat, Actividad Bact, Catalizado, Agitación	1.5	8	4	2	0.5	Presencia de Fe3 y Bacterias	2.82842712
		10.5	22.627417	8	2.82842712	0.35355339		3.77800043
7	Permanencia		Definitivo	< de 25 años	< de un año	< de 1 mes		7
		1	8	4	2	0.5	Alta posib de ser definitivo	7
		11.5	8	4	2	0.5		9.35007404
8	Acceso de tecnologías de remediación		No menor de 3 factores	2 factores	1 factor	Ningun Factor		4
	No existente, complejo, Pel1grosa difícil de operar	1	8	4	2	0.5	Encapsulamiento superficial sencillo, pero el interior complejo	4
		12.5	8	4	2	0.5		5.34289945
		12.5	1.94368E+11	33554432	5792.61875	0		5856981.28
		0.08	8	4	2	0		3.47867541
							Sumatoria de participación	74.8657174

Figura N° 4.05



La gráfica muestra que el criterio PNN es el más importante (cerca del 45 %) y le sigue la cantidad de material con el 12 %. Este dato es muy importante porque nos lleva a dirigir que el AAS debe ponerse mucho más atención a los materiales con contenido de azufre.

4.3.2.5 Valoración del riesgo ambiental

El procedimiento de valoración es bastante similar al de los AAS, sólo que se evalúan por separado los criterios que corresponden al del potencial contaminante; luego los criterios de transporte del contaminante y finalmente los criterios del cuerpo receptor.

El Cuadro N° 4- 3 muestra la evaluación realizada para los materiales que conforman el dique de un deposito de relaves

Cada Criterio es evaluado individualmente. Así se tiene:

Potencial del contaminante con	3.56
Medios de transporte con valoración de	1.71
Presencia del cuerpo receptor con valor de	1.42

El valor del riesgo ambiental alcanzó 2.36, relativamente en el campo de riesgo bajo y la participación de los criterios dieron:

Potencial del contaminante con	80.0%
Medios de transporte con valoración de	10.8
Presencia del cuerpo receptor con valor de	10.2%

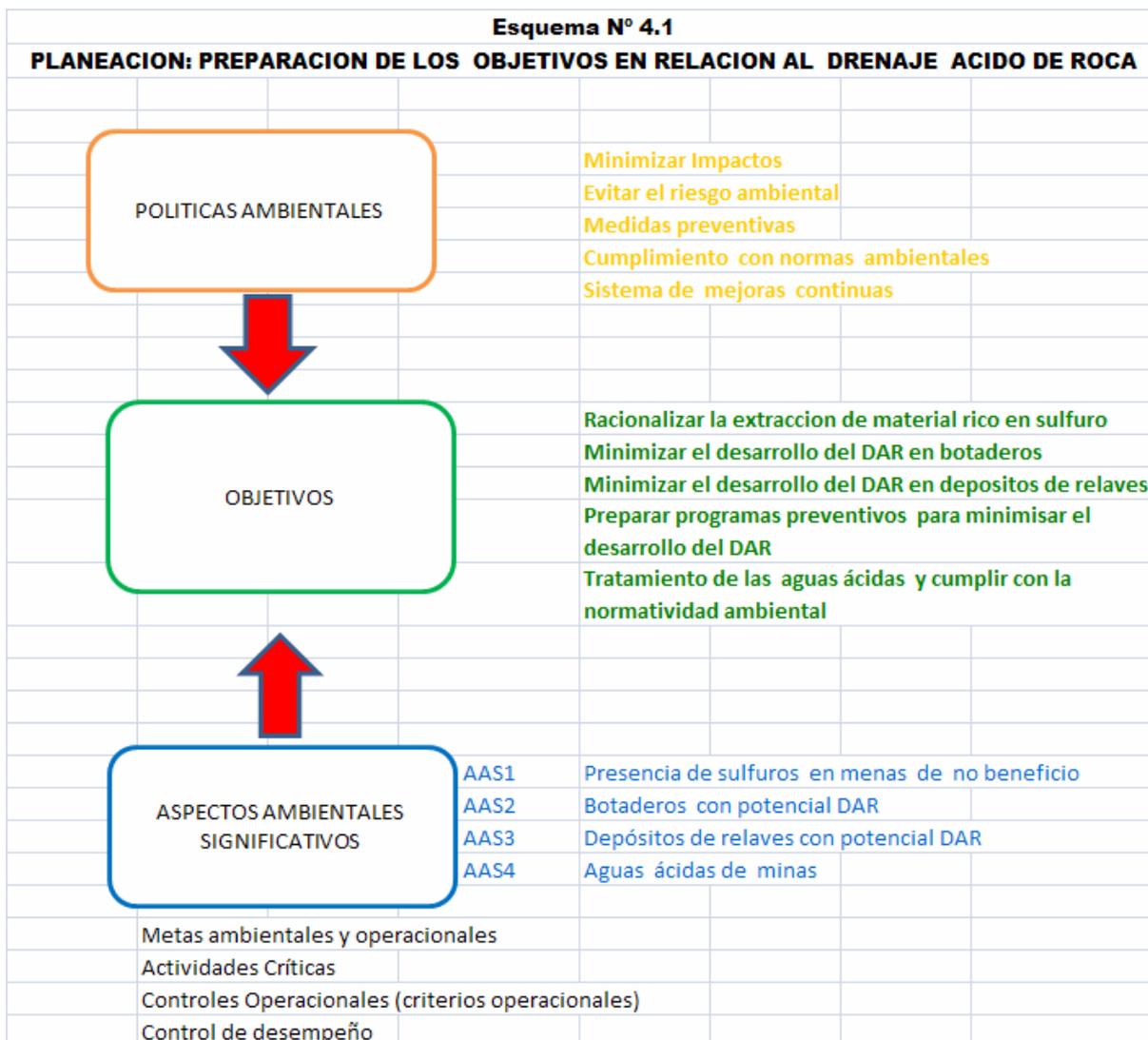
4.3.2.6 Normas ambientales (requisito 3)

Otro requisito en la etapa de Planeamiento, está constituido por las normas ambientales que se aplican para el control del contaminante o minimizar el riesgo Ambiental, (requisito 3); en este punto no sólo se encuentran las normas ambientales dadas por el ministerio sino los compromisos asumidas por la empresa, sea por acuerdos con el entorno social o por iniciativas propias.

4.3.2.7 Objetivos y metas (requisito 4)

Un tercer requisito de la etapa de planeamiento son las definiciones de los Objetivos y Metas (requisito 4). Conocidos los aspectos ambientales (AA), se continúa con una evaluación para determinar los Aspectos Ambientales más Significativos (AAS); de ellos se define las actividades críticas y los correspondientes controles operacionales, etc. Con los resultados de esta actividad y en conjunción con las políticas ambientales se definen los Objetivos y luego las metas Ver Esquema 4.1

Cuadro N° 4 03 Valoración del riesgo ambiental para el dique de una presa de relaves									
		Ponderac						Valoracion	
		Individ						V con Pond	
	Sustrato a ser evaluado	Acumulat					Dique de presa de relaves		
1	Potencial Neto de neutralización		> -1000	> -200	> -40	POSITIVO		3.2	
	PNN = PN-PA	3	8	4	2	0	PNN = -120 Kg de CO3Ca/TM	32.768	
	Valorac del 8 al 1	3	512	64	8	0			
2	Cantidad de material		> 1MM	>100M	>10M	>1000		3	
		2	8	4	2	1	50000 TM	9	
		5	64	16	4	1			
	Permanencia		Definitivo	< de 25 años	< de un año	< de 1 mes		7	
3		1	8	4	2	0.5	Alta posib de ser definitivo	7	
		6	8	4	2	0.5		2064.384	
		0.1666667						3.56833057	
								Factor Promedio	
5	Presencia de agua Precip/escorrentias		> 1500 mm/año	>750 mm/a	>350mm/a	< de 50mm o nula		5	
	Valoración de 8 a 1	1	8	4	2	0	900mm/año	5	
		1	8	4	2	0			
	Presencia de personas y animales	2	> 100 Indiv	>20 perman	> 20 ocasión	Rara vez	Rara vez	1	
		3	8	4	2	0.5		1	
		0.3333333						5	
								1.70997595	
								Factor Promedio	
7	Receptor Humano	2	En el Entorno	>20 cerca < 500m	<10 alej,>500m	Inexistenes	Alejado	1	
		2						1	
8	Receptor ambiental		No menor de 3 factores	2 factores	1 factor	Ningun Factor	Agua y otros en menor escala	3	
	Agua, Agua suelo, agua suelo biolog	1	8	4	2	0.5		3	
		3	8	4	2	0.5		1.44224957	
		0.3333333						Factor Promedio	
								% de distrib	
	Sustancia contaminante	2					Factor total * Pondera	12.7329831	80.1562221
	Medio de transferencia	1					Factor total * Pondera	1.70997595	10.7645798
	Cuerpo receptor	1					Factor total * Pondera	1.44224957	9.07919819
		0.25					Producto de factores	31.4022366	15.8852086
	Riesgo Ambiental						valor del Riesgo ambiental	2.36722831	



Los objetivos se desarrollan de las políticas específicas y de los AAS, éstas deben ser medibles; las metas se desprenden de los Objetivos, y éstas también son medibles y de corto plazo. Los objetivos y las metas deben estar relacionados por un lado con las políticas ambientales asumidas por la Empresa y por otro lado con los Aspectos Ambientales Significativos

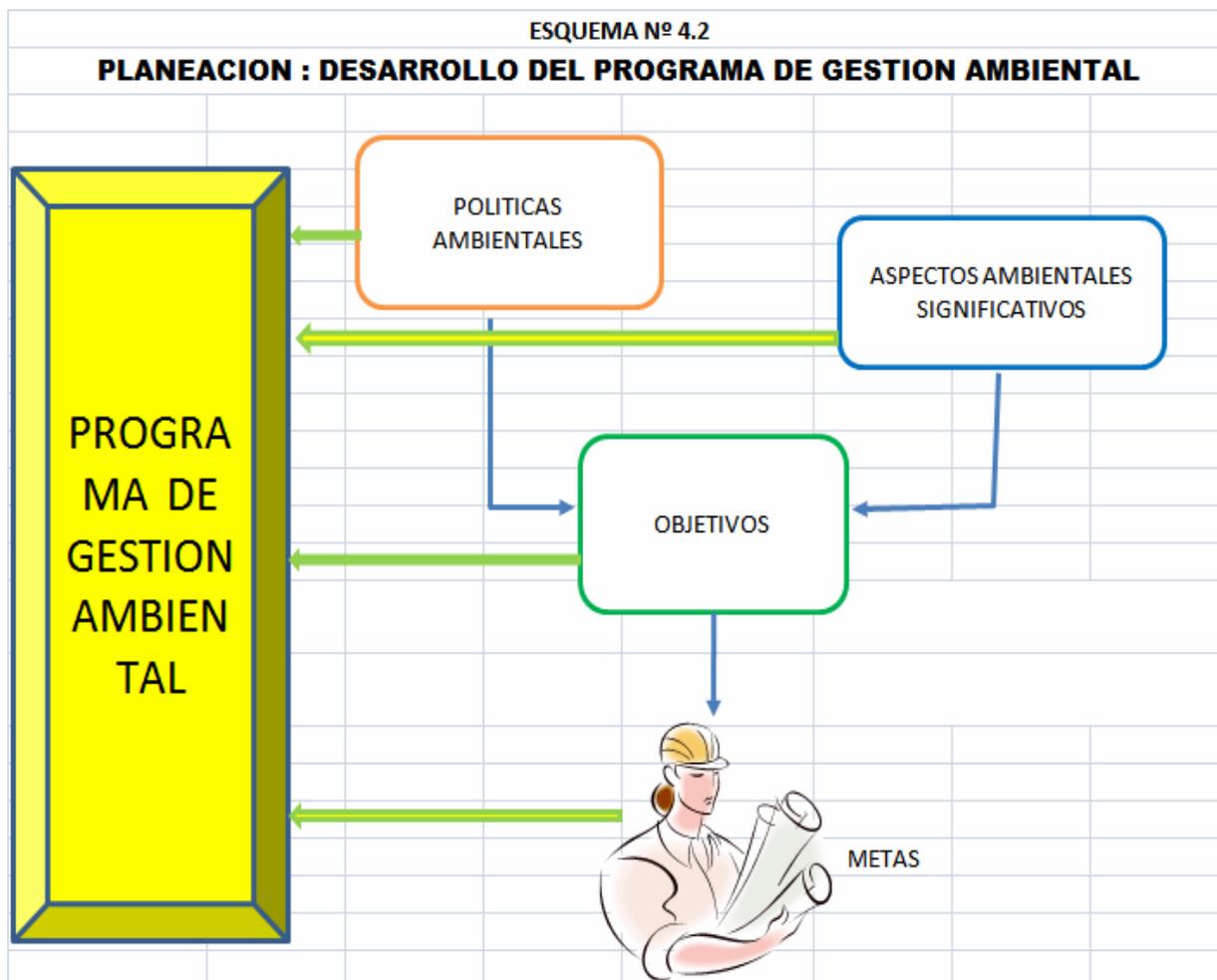
Por lo general para seleccionar los Objetivos y Metas dentro el marco de las mejoras contiguas se selecciona los AAS más notables y que pueden tratarse fácilmente, es decir que tengan un alto potencial de mejora, Así por ejemplo un aspecto ambiental significativo es la

molienda del material con segregación de parte de los sulfuros (piritas que conforman los relaves), de tal manera que el Aspecto Ambiental identificado con una alta superficie de reacción (AAS) puede resolverse fácilmente depositando estos materiales en sitios confinados limitando el acceso del oxígeno; como tal, las metas estarían relacionadas a que el material particulado sea confinado en el menor tiempo posible, que las superficies deben protegerse sea con capas de agua o suelos, cubiertas impermeables, se prepare compuertas para evitar el ingreso del aire, etc.

En la etapa de planeamiento en lo que corresponde a objetivos y metas no debe dejarse de lado que uno de los objetivos es la prevención de la contaminación; otro de los objetivos es la remediación inmediata del impacto, esto incluye el tratamiento en el mismo foco donde se desarrolla el contaminante. Otro objetivo está relacionado al control del efluente, de tal manera que éste no alcance a los cuerpos receptores con potencial de riesgo ambiental.

4.3.2.8 Programa de Gestión Ambiental (requisito 5)

El último requisito de la etapa de Planificación es el Programa de Gestión Ambiental (PGA) (requisito 5); en este programa se identifica los objetivos y metas con las correspondientes responsabilidades; los recursos necesarios, plazos, etc. Ver esquema N° 4.2



4.3.3 Implementación y Ejecución

4.3.3.1 Estructura organizativa (requisito 6)

Corresponde la tercera etapa del Sistema de Gestión Ambiental, en esta etapa se describe todos los requisitos para que puedan desarrollarse los objetivos y metas planteados; uno de los requisitos de esta etapa es contar con una estructura organizativa (requisito 6) capaz de desarrollar todos los objetivos y metas. La estructura organizativa medular creará responsables en los lugares o instalaciones donde se han definido Aspectos Ambientales Significativos, concretamente se

contará con un responsable en el área de mina, quien tendrá a su cargo el estado en que van quedando las superficies minadas; por otro lado, será necesario un responsable en el área de botaderos; otro en el área de relaves y un responsable en el manejo de los efluentes ácidos. Asimismo, se nombrará un responsable general que permita reportar a la alta dirección el desarrollo del SGA aplicado al manejo del drenaje ácido, además de responsabilizarse de la implementación y mantenimiento del SGA. Es muy importante tener en cuenta que todos los trabajadores son responsables del cumplimiento de las metas que se les asigne. Ver esquema N° 4.3.



4.3.3.2 Capacitación y entrenamiento (requisito 7)

Un segundo requisito de la etapa de Implementación es la capacitación y entrenamiento (requisito 7). En términos generales, la capacitación es

para todo el personal no importa el nivel jerárquico y compromete temas de todo el ciclo del SGA, Entre los puntos más resaltantes está el referido a las políticas ambientales (todo trabajador debe saber y comprender sobre las políticas ambientales del sistema de gestión ambiental, para este caso el asunto es minimizar el nivel de riesgo ambiental por la potencialidad de generación de drenaje ácido de roca), Capacitación sobre los objetivos y metas; sobre el cumplimiento de las normas ambientales y el de otros compromisos; Capacitación en los AAS identificados por la empresa. De modo más específico, habrá capacitaciones en los temas de actividades críticas; controles operacionales; monitoreo de calidad ambiental, capacitación en el tema de la importancia de la veracidad de la data y la necesidad de respaldar resultados con formatos claros y precisos. También forma parte la capacitación para los casos de emergencia o acciones no previstas.

4.3.3.2 Comunicaciones (requisito 8)

Un tercer requisito comprendido en la etapa de Implementación son las Comunicaciones (requisito 8). La comunicación debe ser eficiente entre todos los integrantes de la Organización, de tal manera, que rápidamente se tenga conocimiento de las acciones que se están realizando en el manejo del DAR, de la misma manera la comunicación debe ser eficiente con el entorno, especialmente porque la migración de contaminantes por drenaje ácido va mas allá de los confines del área minera. La comunicación externa también compromete a los proveedores o entidades que tienen que ver con el DAR y en general para comunicar a las diferencias instancias tanto del entorno como del gobierno sobre las políticas ambientales de la empresa con respecto al manejo del DAR.

4.3.3.4 Documentos (requisito 9)

Otro requisito para la etapa de Implementación son los documentos (requisito 9). De esta manera la organización puede establecer y mantener, por escrito o por otro medio la información relacionada a la estructuración y desarrollo del sistema de gestión ambiental.

La documentación básica que deberá mantenerse son las siguientes sin ser éstas limitativas:

- Documentación relacionada a las políticas ambientales identificadas en el manejo del DAR o la minimización de los riesgos ambientales; asimismo, deberán quedar por escrito todos los objetivos y metas.
- Documentación relacionada al manual del Sistema de Gestión Ambiental y los diferentes procedimientos y estándares; además de los Aspectos Ambientales Significativos que la Empresa a identificado.
- Documentación relacionada a los compromisos ambientales, sean estos normas ambientales nacionales u otros compromisos asumidos por la Empresa, asimismo, toda la documentación relacionada a los monitoreos y mediciones en el marco de los límites máximos permisibles.
- Documentación específica como instrucciones de trabajo, tablas, diagramas, registros, etc. Como ejemplo para el caso del DAR, la información está relacionada a los procedimientos preventivos, a los controles operacionales, a los sistemas o procedimientos para el caso de emergencias, los documentos relacionados al control ambiental o a los sistemas de monitoreo, especialmente la de calidad de aguas

4.3.3.5 Control de documentos (requisito 10)

El quinto requisito de la implementación del SGA está relacionado al *Control de documentos* (requisito 10). Los documentos que comprometen la veracidad del SGA, deben ser aquellos que han sido

aprobados, revisados y son manejados por las personas que lo requieran; es muy importante saber donde se encuentran determinados tipos de documentos o quien los tiene y en las versiones correctas.

El control de documentos deberá distinguir los tipos de documentos que se controlan, cuales documentos son válidos de acuerdo a las últimas revisiones y retirar ediciones pasadas; debe establecerse los formatos y o contenidos. Establecer procedimientos de entrega, recojo y en general de lograr que la información alcance al usuario.

4.3.3.6 Control Operacional (requisito 11)

El sexto requisito de la etapa de implementación del SGA, está relacionado al *control operacional (requisito 11)*. Este requisito es el tema de mayor interés en el manejo del control del DAR.

En general se va a distinguir dos tipos de controles; uno de ellos es el de control operacional, para este tipo de control se establecen criterios simples (característica clave) de tal manera de evaluar el nivel de los procedimientos operacionales. El otro tema está relacionado al control de gestión y su medida son los Indicadores de desempeño.

A partir de los AAS identificados en el manejo del DAR, se determinan las actividades críticas. A partir de las actividades críticas se determinan los puestos especiales de trabajo, capacitación específica y las necesidades de controles operacionales. Si la actividad crítica es la presencia de DAR en determinada galería; un control operacional serán las mediciones del pH de las aguas que discurren por la galería, una característica clave estará relacionada a que si el pH baja de 5.0 unidades, para este caso deberá darse las instrucciones necesarias para controlar el pH de la solución que discurre por la galería.

Una característica importante en el control operacional es establecer los criterios operacionales, de tal manera que el operador con información visual o datos simples (cambio de color, cambio de temperatura, cambio de pH, etc.) Pueden saber cómo anda su operación.

4.3.3.7 Preparación y Respuestas de Emergencia (requisito 12)

El último requisito en la implementación del SGA es *la Preparación y Respuestas de Emergencia (requisito 12)*; este tema es de mucha importancia, en el manejo y control del DAR. En este requisito debe preverse la organización necesaria para atender cualquier emergencia, los procedimientos, los recursos y las acciones ante accidentes.

Este requisito comprende además los Procedimientos para la Identificación, procedimientos de respuesta; de prevención y de reducción de impactos.

Este requisito constantemente debe ser revisado y actualizado especialmente después de ocurrir un incidente o situación de emergencia.

Finalmente este requisito debe prever periódicamente procedimientos de ensayos o simulacros.

4.3.4 Verificación y acciones correctivas

Comprende la Cuarta etapa del Sistema de Gestión Ambiental en el marco de las Mejoras Continuas. En esta etapa se han establecido 4 requisitos que son los siguientes: Monitoreo y Medición, Acciones de No Conformidad, acción correctiva y acción preventiva. Un tercer requisito son los registros (requisito 15) y el Cuarto requisito son los Sistemas de Auditoría (requisito 16).

Básicamente esta etapa, comprende dos grupos. Uno de estos está relacionado a los AAS identificados por la empresa en el marco de las mejoras continuas, para este grupo se establecen los objetivos y metas y un segundo grupo el resto de AAS para este último caso solo será necesario manejar y controlar los AAS. Ver esquema N° 4.4



4.3.4.1 Monitoreo y Medición (Requisito 13);

Es el primer requisito de la Cuarta etapa de la Implementación del SGA; en general se requiere de un procedimiento documentado para medir y monitorear las características claves de sus operaciones y actividades que pueden tener un Impacto ambiental significativo.

Los monitoreos deben ser estandarizados y medidos con equipos calibrados aun manteniendo el record de calibración o buena performance del equipo de control

En general, el monitoreo y control se realiza para tres diferentes situaciones:

- Mediciones de las características claves de los *controles operacionales*, como % de S, % de álcalis, pH, Conductividad; ICP de metales tanto totales como solubles, etc. información que mide una buena performance operacional.
- Otro tipo de medición está referido a los *indicadores de desempeño*: Cuadros estadísticos, históricos del control y evolución del DAR; de esta manera se mide los logros o avances en los objetivos y metas.
- El tercer grupo está relacionado a las mediciones para cumplimiento legal; LMP para efluentes; los estándares de calidad ambiental para cuerpo receptor, etc. (siempre es necesario tener actualizados los requisitos legales).

4.3.4.2 No conformidad, acción correctiva y Preventiva, (requisito 14).

Corresponde al segundo requisito de la Cuarta etapa de verificación y acción correctiva, para este caso es necesario establecer y mantener procedimientos documentados para definir las responsabilidades y autoridades para mantener e investigar las no conformidades, así como para implantar las acciones correctivas y/o preventivas.

La definición de una No Conformidad está relacionada a una desviación del SGA; también a actuaciones que no estén de acuerdo con los documentos del SGA.

Un último punto está relacionado a la falta de cumplimiento Legal.

En general las auditorías, sean estas internas, externas o de cumplimientos de Normas solicitadas por el Ministerio, etc., son las encargadas de detectar los no conformidades, además de las acciones correctivas y preventivas. Es importante implementar y registrar en los

procedimientos documentados los cambios que resulten de la acción correctiva y preventiva.

4.3.4.3 Registros (requisito 15).

Es el tercer requisito de la Etapa de Verificación y acciones correctivas . Los registros constituyen una parte fundamental del SGA, pues demuestran el cumplimiento de los requisitos especificados por el sistema.

Los registros ambientales deben ser legibles, identificables y trazables. Los registros deben ser archivados y protegidos contra cualquier acción que lo deteriore.

Entre los documentos más importantes que se registren tenemos :

- Registros de información de desempeño
- Registro de controles operacionales.
- Registro de conformidad de objetivos y metas
- Registro de los resultados de monitoreo
- Registro de calibraciones de equipos
- Registro de resultados de auditorías
- Registros de capacitación
- Informes de inspecciones, ensayos, pruebas, etc. relacionado con el manejo del DAR

4.3.4.4 Registros (requisito 16).

Corresponde al cuarto requisito de la cuarta etapa de la implementación del SGA. Es importante tener en consideración la definición que se tiene sobre una Auditoría Ambiental. “Proceso de verificación sistemática y documentada para obtener y evaluar en forma objetiva la evidencia que permita determinar si las actividades ambientales, los eventos, las condiciones, los sistemas administrativos especificados, etc.

Cumplen los criterios de la auditoría, y para comunicar los resultados de este proceso al cliente.”

Los procedimientos de auditoría deben incluir, el alcance de la auditoría, la frecuencia y la metodología, las responsabilidades y requisitos para la auditoría e informar acerca de los resultados.

4.3.5 Revisión por la Dirección. (requisito 17)

Es la última etapa en la implementación del SGA. Básicamente el proceso de revisión (requisito 17). comprende dos etapas: La primera de ellas son las evaluaciones de los resultados de la implementación del sistema (Informe de auditorías, cumplimientos de objetivos y metas; evaluación de desempeños ambientales, cumplimiento legal, etc.) y una segunda parte las acciones que se deben tomar (modificaciones en el SGA; modificaciones en las políticas ambientales; requerimientos de nuevos recursos, etc.) Esta última etapa constituye la posta para iniciar nuevamente el proceso dentro del marco de las mejoras continuas. Se puede sintetizar que esta última etapa es de Revisión de lo actuado y planteamientos para un Mejoramiento.

4.4 Conclusiones

Ciclo de las Mejoras Continuas

Las conclusiones relacionadas a este punto son básicamente los resultados logrados en los diferentes Objetivos y metas propuestas, medidas tanto de la disminución de la contaminación del DAR o minimización del riesgo ambiental y los resultados permitirán a la Alta Dirección la reformulación o complementación de las políticas ambientales y ,como tal, el inicio de un nuevo ciclo en el marco de las mejoras continuas Ver esquema N° 4.5

CAPITULO V

CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES MINERO METALURGICOS: ESTUDIO DEL POTENCIAL ACIDO- BASE

5.1 Aspectos generales.

El presente estudio es aplicado a un yacimiento minero polimetálico con una antigüedad de más de 55 años de los cuales , en los últimos años se ensayaron diferentes sistemas de gestión ambiental

En este capítulo se desarrollará aquellos requisitos del SGA que se aplican al problema del DAR, y corresponden normalmente a los requisitos de la etapa de Planificación. Se iniciará con la identificación de los aspectos ambientales dentro de las actividades mineras y que corresponden a problemas de DAR. Continuaremos con los AAS, estos serán valorizados y se identificarán los parámetros de control operacional. Asimismo, se determinarán las actividades de control de gestión, con todo esto se desarrollará el correspondiente programa de manejo ambiental (PMA) que incluye la determinación de los objetivos y metas de conformidad con las políticas generales y específicas desarrolladas por la empresa minera.

Durante la vida de la mina se esperan materiales mineros residuales sobre la superficie y en el entorno de la operación que pueden tener implicancias de DAR, tales como:.

- Depósitos de relaves
- Botaderos de material de mina
- Las labores mineras subterráneas
- Sectores de minado a tajo abierto
- Aguas de mina

Además, el drenaje ácido de roca, también puede ocurrir en otras áreas del asiento minero y por lo general son de menor volumen de roca (material particulado), materiales que también serán evaluados, tales como:

- Derrames de concentrados y relaves
- Almacenamiento de concentrados e instalaciones de descarga
- Apilamiento de mineral
- Superficies de roca expuestas al cortar rocas para carreteras, etc.
- Caminos por los cuales pasan camiones o ferrocarriles con concentrados
- Aliviaderos de emergencia
- Pozas de almacenamiento de lodos en plantas de tratamiento

Se estima que durante los años de operación hasta antes de mediados del 90 donde se inician los programas de adecuación y manejo ambiental se han sacado a superficie no menos de 5 millones de TM de material minero, dispuestos sobre el suelo en diferentes formas

Después de los EVAP y la implementación del PAMA, se inicia la primera etapa de gestión ambiental y una segunda manera de manejo de los materiales residuales minero metalúrgicos, asegurando que ellos no generen problemas ambientales. Finalmente se está

desarrollando una etapa de gestión ambiental con la aplicación de los sistemas de las mejoras continuas donde el tema central es la identificación de los aspectos ambientales más significativos y se desarrollan programas de manejo ambiental en el marco de los SGA.

Con los conocimientos ambientales hasta entonces, la empresa ya esta en situación de iniciar sus postulados en temas ambientales , tales como:

- Evaluar los diferentes materiales minero metalúrgicos , dispuestos en diferentes partes y conocer su potencial de generación Acida.
- Minimizar el posible desarrollo del DAR
- Tratar inmediatamente escorrentías ácidas.

De esta manera los temas a desarrollar son los siguientes:

- Selección de los materiales minero metalúrgicos a evaluar
- Caracterización de los medios ambientales que contribuyen a la generación del drenaje ácido
- Primera valoración de los materiales en su capacidad de generación de drenaje ácido
- Identificación de los aspectos ambientales más significativos
- Establecer el SGA aplicado al DAR, definiendo acciones en sus principales etapas y requisitos

5.2 ASPECTOS AMBIENTALES: Selección e identificación de los materiales con posibilidad de DAR

5.2.1. Materiales identificados.

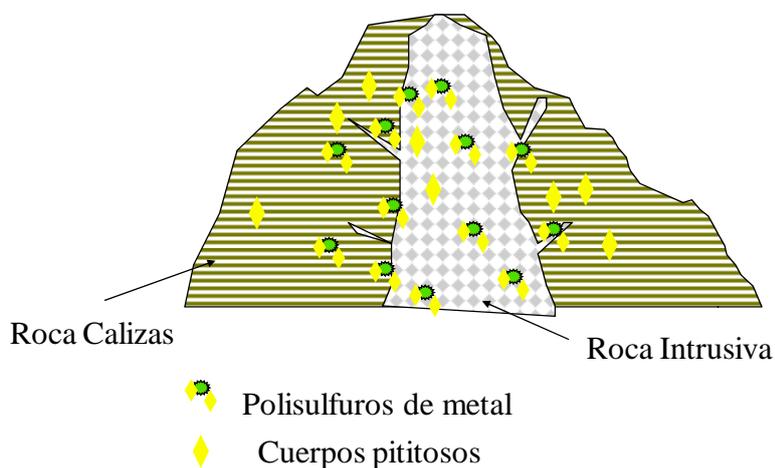
El presente programa de gestión ambiental para el manejo del Drenaje Acido de Roca (DAR), corresponde a las actividades minero-metalúrgicas de una unidad de producción ubicada en la sierra central.

El nivel de producción es del orden de los 3,000 TMD beneficiando minerales polimetálicos con leyes de metales del orden del 8 % (Zn, Pb, Cu, Ag), como tal, se espera un residuo del orden del 2400TMD de relaves.

La actividad minera ya viene operando varios años como tal encontramos importantes volúmenes de residuos sólidos en calidad de pasivos ambientales (antiguos depósitos de relaves, botaderos de desmontes, áreas antiguas de explotación, etc.)

El yacimiento es de origen metasomático de contacto, entre la caliza Paria y el intrusivo. La intrusión originó una aureola de metamorfismo o skarn que fue mineralizada por galena con valores de plata y esfalerita con pirita, calcita y fluorita. Los cuerpos mineralizados a manera de bolsonadas pueden localizarse algunas veces mas cerca al intrusivo (son mas generadoras de ácido por la ausencia de caliza en su entorno) o mas cerca al skarn (la caliza metamórfica ayuda a neutralizar a los materiales que conforman la ganga de los cuerpos mineralizados). En la **Figura N° 5.1** se muestra un esquema con la representación del yacimiento polimetálico.

**FIGURA N° 5.1 CUERPO MINERALIZADO
ANTES DE SU EXPLOTACION**



Actividades relacionadas a la exploración minera generan materiales residuales que tienen relevancia como posibles generadores de drenaje ácido.

El desarrollo de la mina requiere en forma diaria hacer cortes de 3300 TMD (300 TMD pasan a botaderos de minerales marginales) y, para el desarrollo de la mina (galerías, cruces, rampas, chimeneas, etc.), genera cantidades importantes de materiales que mas adelante van a constituir botaderos, bases para pistas, diques de presas de relaves y otras.

Además, las actividades minero metalúrgicas generan desbroces, roturas y aperturas de nuevas superficies, etc. que también representan áreas probables para formar drenaje ácido.

La recuperación de lodos y material sedimentable y su ubicación en lugares abiertos hacen que estos materiales se constituya en posibles materiales generadores de ácido.

A continuación se hace una descripción de los principales materiales mineros metalúrgicos que deberán examinarse en su potencial generación ácida. (13)

- a) Unidades Litológicas.
- b) Cuerpos mineralizados o yacimientos
- c) Material residual superficial de exploraciones.
- d) Material estéril de desarrollos mineros (rellenos, bancos, botaderos)
- e) Material de relleno hidráulico (arenas gruesas de cicloneado)
- f) Material de relaves.
- g) Material de paredes de galerías, chimeneas, rampas, etc.
- h) Materiales mineros marginales.
- i) Relaves antiguos.
- j) Materiales particulados de chancadoras.
- k) Material particulado del desbroce de bancos, caminos, canales, etc.
- l) Material particulado de pozas de sedimentación y decantación.

- m) Material superficial de lechos de quebradas ubicadas en las cercanías del yacimiento.

5.2.2 Muestreo

5.2.2.1 Introducción

Como parte del desarrollo de la actividad minero-metalúrgica existen un sin número de materiales que deben ser caracterizados en su potencial de generar Drenaje Acido de Roca (DAR).

Dado que cada material tiene características particulares y en algunos casos con alta posibilidad de cambiar sus características físico-químicas, entonces es necesario tomar todas las consideraciones para desarrollar un diseño de muestreo y alcanzar la mejor representatividad de la muestra.

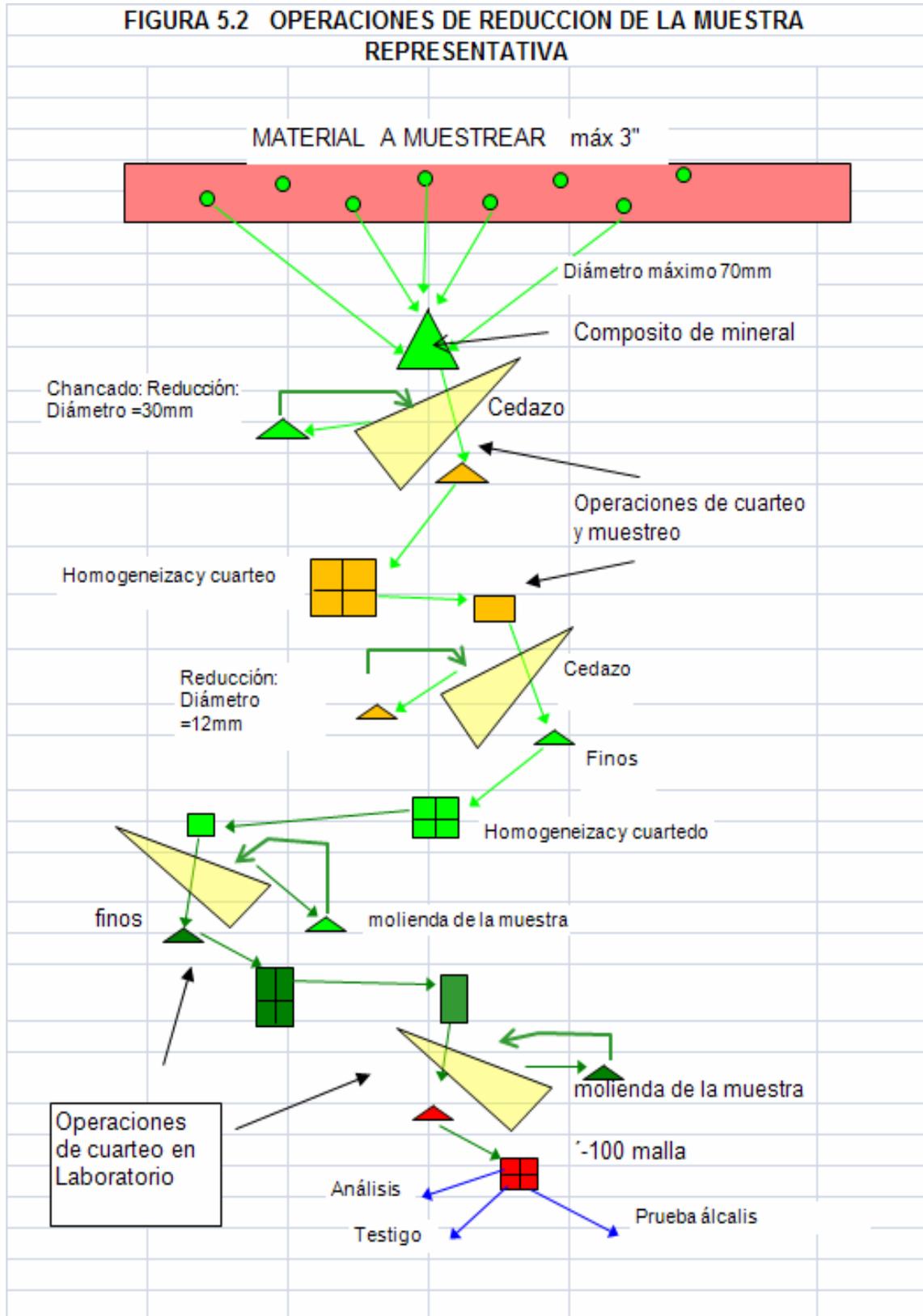
Los procedimientos para la toma de muestras van a variar, dependiendo fundamentalmente de la homogeneidad del material y del tamaño de grano de los materiales a muestrearse, en la Figura N° 5.2 se muestra un esquema general de la preparación de la muestra

Se asume que las diferentes muestras seleccionadas para evaluarse corresponde a la identificación de los Aspectos Ambientales de las diferentes actividades mineras metalúrgicas: así por ejemplo la muestra de un botadero corresponde a la actividad de desarrollo de mina.

5.2.2.2 Materiales seleccionados.

- a. *Muestras de roca:* (formando depósitos)
- Muestra # 1 Botadero de la Quinoa (operación) > 1000,000 TM, conformados por materiales de desarrollo de mina, ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de caliza con mediana a baja presencia de piritas

FIGURA 5.2 OPERACIONES DE REDUCCION DE LA MUESTRA REPRESENTATIVA



- Muestra # 2 Material abandonado ubicado a la salida de aguas de drenaje de la Presa. (Pasivo ambiental) <3000TM Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piritas.
- Muestra # 3 Ladera de cerro: frente al colegio (pasivo ambiental: < de 80,000 TM.) La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones. Son áreas oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piritas ni material calcáreo
- Muestra # 4 Ladera de cerro: Frente al Hotel. (Pasivo ambiental. Menor de 30,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piritas ni material calcáreo
- Muestra # 5 Ladera de Cerro frente a oficinas administrativas. (pasivo ambiental. Menor de 30,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piritas ni material calcáreo
- Muestra # 6 Ladera de cerro frente a la carpintería (pasivo ambiental) < 50,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo Esta área se encuentra cerca a cuerpos mineralizados como tal se espera bajo álcalis y presencia entre media a baja de piritas
- Muestra # 7 Dique en construcción La Quinoa (operación) < de 100,000 TM de materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de caliza con mediana a baja presencia de piritas.

- Muestra # 8 Banqueta presa de relaves (operación) < de 20,000TM de materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
 - Muestra # 9 Dique parte superior de la presa (operación) < 30,000 TM de materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
 - Muestra # 10Dique parte Intermedia (Levantamiento antepenúltimo del dique). (Operación) < de 10,000 TM de materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
- b. *Muestras de relaves. (Compósito de material fino)* Estos materiales provienen de zona mineralizada, como tal, se espera básicamente presencia de piratas, en algunos casos con presencia notable de carbonatos y en otros con poco álcalis
- Muestra 11 Relaves desde Planta Concentradora. (Operación), 2,400 TM/día
 - Muestra # 12Arenas de relaves de ciclón (Operación) 600 TM/día
 - Muestra # 13Finos de relaves de ciclón (operación) 1800 TM/día
 - Muestra # 14Finos de drenaje la Quinua. (Operación) < de 10,000 TM
- d. *Material obtenido de algunas base de obras.* Son materiales seleccionados, normalmente de desarrollo de mina alejados de yacimiento mineral, como tal se espera bajos contenidos de pirita y material calcáreo variable e incluso escaso

- Muestra # 17 Material grueso frente al botaderos en operación < 20,000 TM
 - Muestra #18 Material grueso tomado de la base del Estadio (cerca de mina de oro) (botadero reciente) < 30,000 TM
 - Muestra # 19 Material grueso (Pariamarca aguas arriba) (Botadero reciente) < 10,000 TM
- e. *Materiales mineros complementarios al primer grupo de muestreo.*
- Muestra # 20 Área correspondiente a la futura laguna de aguas servidas pretratadas, 30,000 TM Material de mezcla con presencia notable de depósitos de relaves antiguos. (pasivo ambiental)
 - Muestra # 21 Material de botadero: Túnel de Presa (pasivo ambiental) 10,000 TM de materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piritas.
 - Muestra # 22 500 m antes de San Miguel (pasivo ambiental) Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piritas.
 - Muestra # 23 Dique Antiguo (pasivo ambiental) < 15,000 TM de material de yacimiento formado por arenas gruesas, se espera importantes concentraciones de pirita
- f. *Muestras obtenidas de las laderas oxidadas en áreas con presencia de drenaje ácido.*
- Estos materiales se encuentran en zona del intrusivo, además son muestras superficiales oxidadas, no se espera ni piritas ni material carbonatado
- Muestra # 24 Boca Mina Nv. +100 Lucho (pasivo ambiental)

- Muestra # 25 Intrusivo Nv. +100 Lucho (pasivo ambiental)
- Muestra # 26 Intrusivo Lucho: Cerca a Base militar (pasivo ambiental)
- Muestra # 27 Intrusivo Nivel +170 Éxito (pasivo ambiental)
- Muestra # 28 Intrusivo Nivel +170 Carmen (pasivo ambiental)
- Muestra # 29 Intrusivo Nv. +80 Carmen (pasivo ambiental)
- Muestra # 30 Intrusivo Nv. +80 Carmen Norte (pasivo ambiental)

g. *Muestras obtenidas en el interior mina.*

- Muestra # 31 Nv -440 Carmen Norte 3 Area1 (operación)
En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 32 Nv -440 Carmen Norte 3 Area2 (operación)
En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 33 Nv -440 Carmen Norte 3 Area (operación)
.En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 35 Nv -600 Carmen Norte 4 Area 3 P+S
(operación) En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 36 Nv -600 Carmen Norte 4 Area 3 (operac)
En caja de veta se espera presencia notable de piritas

5.3 Características ambientales y del tipo de material interrelacionadas con el DAR.

Están referidas a situaciones ambientales que favorecen o no a las posibilidades de la ocurrencia del drenaje ácido o al grado de exposición de las rocas al medio oxidante: entre las más importantes se tiene:

Ambientales:

- La zona presenta grandes fallas regionales y fallas locales que, por lo general, son transversales a las primeras. Estas fallas constituyen la huella del sistema de drenaje de la región

- La cantidad de lluvias en la zona, etc. El balance hídrico favorece la presencia de escorrentías superficiales en las temporadas de lluvias (Nov. a Abril) y ausencia de ellas durante el tiempo de estiaje.
- En general, el nivel freático se encuentra por encima del yacimiento, como tal, se espera operaciones mineras subterráneas con presencia de agua.
- Presencia de pastoreo y de otras actividades relacionados con la vida animal y desarrollo de plantas.
- Cercanías a ríos o poblaciones (San Miguel ubicado a 5 Km de las operaciones mineras)

Características de lixiviabilidad del mineral

Se consideran aspectos relacionados a la lixiviabilidad del mineral, el tipo de toxicidad de las aguas que van a generarse o las cargas de iones contaminantes a esperarse, los niveles de cinética de reacción, etc.

Para las caracterizaciones del mineral en su posibilidad de generación ácida deberá evaluarse

- Características de los minerales sulfurados, especialmente las denominadas gangas sulfurosas, con el fin de determinar su PNN
- En contrapartida a los minerales sulfurosos, también deberá evaluarse la presencia de minerales ricos en álcalis. con el fin de determinar su PNN
- La distribución de las especies minerales, en el seno de la roca, sean éstas sulfurosas o carbonatadas.
- La forma como se presenta el yacimiento minero.
- Los sistemas de minados y la cantidad de residuos que originan las diferentes operaciones
- Tipos de alteraciones de las rocas
- La presencia de fallas, deslizamientos u otros en el yacimiento.
- Las variaciones de la napa freática.

- La presencia y características de las rocas de cubierta (con buenas propiedades de impermeabilización) para ser utilizadas en el plan de cierre.

Factores de orden legal y social

- Cercanías a poblaciones o ciudades.
- Cercanías al nivel de la capa freática
- Políticas relacionadas al uso de las aguas.
- Políticas relacionadas al control del medio ambiente
- Normatividad relacionada al control del drenaje ácido de roca.
- Usos de suelos a corto mediano y largo plazo.

Asimismo, se deberá prestar atención a factores que pueden determinar el nivel de riesgo, entre los más importantes tenemos:

- Presencia de vida en la zona probable de impacto
- Presencia de vida animal, especialmente en el medio acuático.
- Presencia de agricultura en el área de influencia de las aguas ácidas

Finalmente deberá tomarse información de estudios especiales como:

- Estudios geológicos, los que determinarán los tipos de rocas existentes; génesis del yacimiento; estratigrafía; debe evaluarse la presencia de rocas calizas y ubicar los cuerpos piritosos con sus correspondientes concentraciones de pirita. Para nuestro caso si el material sulfuroso se ubica en la zona del intrusivo, la posibilidad de generación ácida se incrementaba rápidamente, como consecuencia de la ausencia de material calcáreo, este caso se presentó en diferentes lugares de laderas exploradas en zonas intrusivas.
- Un estudio geotécnico, también es importante en el marco de identificar fallas y conocer la estructura de la roca que soporta al suelo. Es importante recalcar que durante 5 meses del año el balance hídrico es positivo y las filtraciones de agua por las

diferentes fallas alcanzan fácilmente al yacimiento humedeciéndolo en su mayor parte.

- Estudios mineralógicos, especialmente todo lo relacionado a minerales sulfurados, en especial la pirita; además, un estudio de los minerales básicos, en especial las calcitas.
- Evaluación meteorológica, especialmente relacionada a las temporadas de lluvias y humedad del medio
- Estudios Hidrológico e Hidrogeológico: interesa conocer las aguas superficiales y las aguas subterráneas, principalmente las máximas esorrentías superficiales y el nivel freático.
- Tipo de yacimiento, forma y desarrollo de la explotación minera, esto es importante para verificar qué áreas han sido modificadas o van a ser modificadas durante el desarrollo de la mina, qué zonas de superficie ricas en sulfuros serán expuestas al aire y agua.

5.4 Pruebas de evaluación: estudio del potencial acido-base.

En general, estas pruebas nos darán la data necesaria para valorizar los AA identificando en una primera parte cómo los AA más importantes y, en una segunda evaluación, los más probables en el desarrollo del DAR: finalmente se evalúa el Riesgo ambiental y de esta manera queda definida los AAS.

5.4.1 Introducción.

Las pruebas de evaluación nos llevan a determinar cuán peligroso puede ser un material en relación al DAR y en consecuencia identificar no sólo los Aspectos ambientales del proyecto, sino los Aspectos ambientales más significativos AAS, el tipo de impacto que se produce, su magnitud, su peligrosidad y lo más importante las medidas preventivas y de mitigación correspondientes.

Antes de comenzar con las diferentes etapas de evaluación es necesario preparar un mínimo de programa, tanto para realizar caracterizaciones generales sobre el yacimiento, sistema de explotación minera, métodos

de beneficio, caracterizaciones del lugar, etc. además, evaluar las características propias del mineral como son las pruebas estáticas para evaluar el Potencial Neto de Neutralización (PNN), valoraciones de cinética y toxicidad, etc.

El procedimiento de evaluación estaría dado por las siguientes determinaciones, sin ser éstas limitativas:

- Descripción de la muestra.
- Análisis del contenido metálico.
- Características mineralógicas.
- Mediciones de pH en pasta.
- Determinación del contenido de S (sulfuro) y PA.
- Potencial de Neutralización PN.
- Potencial Neto de Neutralización Neta PNN.
- Relación PN/PA.
- Cantidad de reacción Qr
- Interpretación de pruebas estáticas.

Las evaluaciones a realizarse en el presente capítulo se centrarán en las valoraciones del Potencial Neto de Neutralización y otras pruebas complementarias de acuerdo a los siguientes procedimientos:

a. Test para determinaciones del potencial ácido y potencial de neutralización

Como se mencionó en el Capítulo 2, para las pruebas estáticas puede utilizarse el test 1312 de la EPA o el test estático ABA modificado según R.W. Lawrence

b. Pruebas de toxicidad.

Estas pruebas muestran los tipos de cationes y aniones que una muestra sólida puede generar a consecuencia de un proceso de lixiviación natural, provocado por la presencia inicial de ácido generado por la oxidación de materiales piritosos.

c. Pruebas de cinética.

Estas pruebas miden con qué rapidez un material puede descomponerse químicamente por efectos del medio exterior como el aire, el agua; la presencia de acidez; la presencia de nuevos agentes oxidantes como el Fe^3 y por acción biocatalítica.

De acuerdo al tipo de información que se desea alcanzar, los modelos de experimentación varían desde sistemas pequeños tipo batch a tamaños de vasos, pasando por columnas de percolación y completando con programas de pilotajes en sistemas continuos.

5.4.2 Evaluaciones para caracterizar la capacidad del material en la generación de DAR

Están relacionadas a todas las pruebas necesarias para evaluar la capacidad del material de generar drenaje ácido. En esta evaluación dedicaremos especial atención a lograr determinar los siguientes parámetros:

- Determinaciones de pH en Pasta para cada muestra.
- Determinación del Potencial Ácido (PA), de todos los materiales que van estar expuestos al aire o van a constituir depósitos de residuos.
- Determinación del Potencial de Neutralización (PN).
- Relación porcentual de solubilidad de la muestra.
- Relación entre el pH-pasta y el % de solubilidad de la muestra
- Interpretaciones del Potencial Neto de Neutralización (PNN) y la relación PN/PA
- Interpretación del PNN y PN/PA en función de la cantidad de reacción. Qr

5.4.3 Mediciones de pH en pasta.

5.4.3.1 Aspectos generales.

Una de las características más importantes del suelo es el pH. Los resultados de las medidas de pH-pasta son un medio rápido para tomar decisiones sobre las características preliminares de un material en su posibilidad de generación ácida. Por lo general, un pH menor de 7.0 nos lleva a conclusiones de que el material ya se está oxidando y posiblemente hay un incremento de material soluble. Para un pH neutro se espera poca alteración y para pH mayores de 7.0 nos inclina a pensar la presencia de materiales ricos en álcalis, posiblemente también con material soluble.

El pH del suelo es medido por un electrodo de vidrio incorporado a un pH-metro; el procedimiento para la medición consiste primero es añadir agua a la muestra hasta formar una pasta. El electrodo se introduce dentro de la pasta, pudiendo leer el valor del pH directamente.

5.4.3.2 Resultados de las mediciones.

Se tomaron mediciones para todas las muestras que representaban pasivos ambientales, como los materiales abandonados en áreas antiguas de exploraciones, botaderos, antiguos depósitos de relaves, etc. En el **Cuadro N ° 5.1** se tiene anotados los valores de pH-pasta medidas para todas las muestras. Una de las características notables que las muestras con mayor deterioro o alteración mostraron tener un pH más bajo de 7.0, especialmente las muestras obtenidas de las áreas de exploración y ubicadas en sector del intrusivo. Asimismo, muestras obtenidas de relaves con cierta antigüedad mostraron pH menores de 7.0.

Para el caso de muestras frescas, por lo general, el pH alcanzó valores algo superiores de 7.0

pH en pasta bajo es sinónimo de presencia de acidez y, a su vez, de presencia de cationes metálicos: Si este material tiene un PNN(-), entonces estamos ante un desarrollo del DAR

5.4.4 Solubilidad del material azufre como soluble

5.4.4.1 Aspectos Generales.

La presencia de azufre soluble en una muestra sólida nos indica el grado de oxidación a que el material ha estado sometido, así como la ausencia de medios líquidos que disolvieran el material oxidado para luego ser transportado formando parte de las escorrentías superficiales. Es posible conocer el grado de alteración si en las cercanías de la muestra oxidada se ubica una muestra similar pero fresca.

El material alterado representa fundamentalmente la acidificación del medio por la oxidación del azufre (de S^{-2} a S^{+6}), además, el rompimiento de enlaces para liberar cationes que pasan a solución incrementando su solubilidad en el medio líquido especialmente si éste incrementa su acidez; otras reacciones complementarias pueden ocurrir si existe álcalis en el medio y éstas son la neutralización del medio ácido y la formación de hidróxidos de metal de los cationes presentes.

En las determinaciones analíticas que se practican a una muestra mineral se determina el contenido de azufre total, como tal se está midiendo el azufre que se encuentra en su estado oxidado como sulfato y el azufre que se encuentra en su estado más reducido conformando los sulfuros; para determinar cuáles son los niveles de proporción entre el material oxidado y el material reducido se realiza las determinaciones del azufre soluble. La relación porcentual entre el contenido de azufre soluble respecto al total de azufre determina el grado de oxidación de la muestra. Por otro lado, suponiendo que no ha habido transporte de material, el total de azufre expresado en % de S_2Fe indicaría la cantidad de material existente que puede reaccionar en la muestra.

5.4.4.2 Determinaciones de azufre total y S soluble a las muestras seleccionadas.

Las diferentes muestras seleccionadas se sometieron a las determinaciones analíticas por azufre total. Para la determinación del Azufre total se utilizó un método gravimétrico pasando todo el azufre como sulfato de bario. La muestra previamente preparada es atacada en un medio de oxidación a baja temperatura utilizando ácido nítrico y clorato de potasio; el ataque continua con ácido clorhídrico y finalmente a las soluciones que arrastran todo el azufre se le adiciona cloruro de bario y precipitar el azufre como sulfato de bario.

Para las determinaciones del azufre soluble, a las muestras previamente preparadas, se les somete a una leve lixiviación con ácido clorhídrico diluido a temperaturas de 30° C y por un tiempo de dos horas, las soluciones que arrastran azufre, de la misma manera, se les determina por precipitación del sulfato de bario

Las determinaciones de azufre como sulfuro se realizaron por cálculo haciendo la diferencia entre el total de azufre y el azufre soluble.

CUADRO N ° 5.1 Mediciones de pH en pasta			
	UBICACION	TIPO	pH Pasta
Muestra # 7	Dique en construcción La Quinua	Operación	7.65
Muestra # 9	Dique parte superior	Operación	7.65
Muestra # 8	Banqueta presa de relaves	Operación	7.6
Muestra # 1	Botadero de la Quinua	Operación	7.45
Muestra # 21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo Ambient	7.45
Muestra # 20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo Ambient	7.25
Muestra # 33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1MM	Operación	7.25
Muestra # 18	Desmante cancha de futbol	Pasivo Ambient	7.2
Muestra # 19	Desmante Pariamarca	Pasivo Ambient	7.2
Muestra # 32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	Operación	7.15
Muestra # 14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	7.1
Muestra # 2	Materiales abandonados(Quinua)	Pasivo Ambient	7.05
Muestra # 17	Desmante frente a botadero	Pasivo Ambient	7.05
Muestra # 11	Relave Planta Concedntradora	Operación	6.9
Muestra # 12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	6.85
Muestra # 13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	6.85
Muestra # 10	Dique parte intermedia	Operación	6.8
Muestra # 35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	Operación	6.8
Muestra # 5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo Ambient	6.8
Muestra # 28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo Ambient	6.8
Muestra # 23	Dique antiguo	Pasivo Ambient	6.7
Muestra # 30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo Ambient	6.65
Muestra # 29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo Ambient	6.6
Muestra # 3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo Ambient	6.4
Muestra # 24	Boca mina Nv. +100 Lucho	Pasivo Ambient	6.35
Muestra # 25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo Ambient	6.35
Muestra # 15	San Miguel: Arenas	Pasivo Ambient	6.2
Muestra # 4	Ladera Cerre:Frente Hotel	Pasivo Ambient	6.15
Muestra # 27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo Ambient	6.05
Muestra # 31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	Operación	6
Muestra # 6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo Ambient	5.95
Muestra # 26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo Ambient	5.45
Muestra # 16	Relaves: Finos cicloneados	Pasivo Ambient	XX
Muestra # 22	Antes de San Miguel	Pasivo Ambient	XX
Muestra # 34	Nv. -440 Veta 5 Area 2	Operación	XX
Muestra # 36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	Operación	XX
Muestra # 37	Nv -600 Veta 5 A 1	Operación	XX
Muestra # 38	Nv -600 Veta 3 A 1	Operación	XX

5.4.4.3 Resultados.

En el **Cuadro N ° 5.2** tenemos anotados los resultados de las mediciones de S Total y S soluble, para cada una de las muestras, asimismo, se ha calculado los porcentajes de S como sulfuro y el porcentaje de azufre soluble; finalmente, incluimos tres columnas adicionales y que representan los contenidos de azufre pero expresados en pirita. El contenido de azufre total está representando el contenido original de pirita; el azufre en calidad de reducido como sulfuro, representa la muestra con contenido actual de pirita y finalmente el contenido de azufre como soluble representa el total de material oxidado. En la **Figura 5.3** tenemos representado los % proyectados de azufre, en sus tres posibles estados (original, actual y oxidado); la información está arreglada en forma descendente para el parámetro pirita oxidada y que representan las muestras que arrojaron mayores concentraciones de azufre soluble. La información contenida en el **Cuadro N ° 5.2** confirma que los materiales que se encuentran en calidad de pasivos ambientales presentan mayor grado de oxidación y como material soluble: en cambio, los materiales frescos a pesar de que la muestra puede contener importantes cantidades de pirita, sin embargo, el grado de oxidación es relativamente bajo.

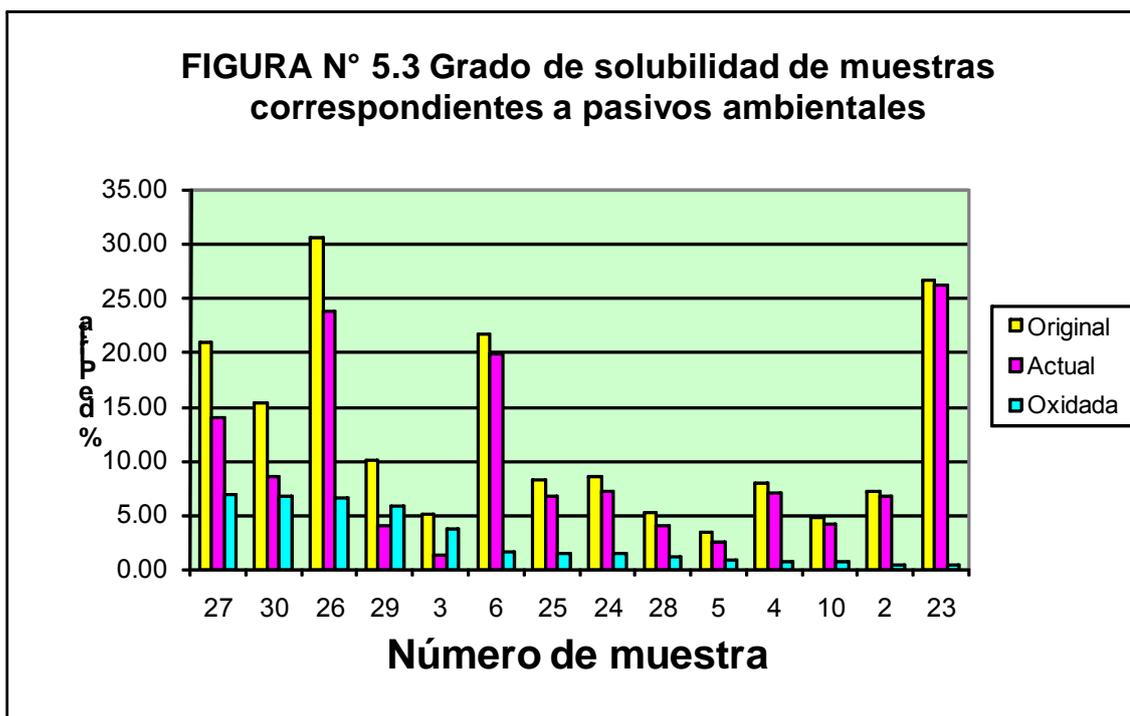
Otro dato que merece atención es el contenido de pirita actual (penúltima columna) pues ella nos indicará el potencial futuro de oxidación. La última columna (pirita oxidada) puede contener el tributo de velocidad o de mayor exposición; finalmente, el análisis de las dos columnas indicaría el grado de peligrosidad del material, así por ejemplo, tenemos las muestras 26, 27, 30, 6 y 29 entre las más importantes. Muestras con potencial de acidificación a mediano y largo tiempo estará representando los mayores contenidos de azufre como pirita actual así tenemos la muestra 12, 11, 35, 23, 38, etc. entre las más peligrosas.

En la **Figura N ° 5.3** además se tiene representados los porcentajes de oxidación de los materiales sulfurados, para los casos de mayor % de oxidación, los contenidos de % de pirita oxidada pueden ser mayores que los % de piritas actuales, por lo general estas muestras corresponden a las obtenidas del área de exploraciones, es decir muestras altamente expuestas al medio ambiente y por un tiempo largo,

CUADRO N° 5.2
CALCULO DEL PORCENTAJE DE SOLUBILIDAD PARA DE LAS DIFERENTES MUESTRAS SELECCIONADAS

Número	UBICACION	TIPO	S Total %	S Soluble %	S Sulfuro %	% Soluble %	% Conenido de pirita (*)		
							Original	Actual	Oxidada
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo Ambiental	12.2	4	8.2	32.79	20.97	14.09	6.88
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo Ambiental	8.91	3.93	4.98	44.11	15.31	8.56	6.75
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo Ambiental	17.8	3.9	13.9	21.91	30.59	23.89	6.70
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo Ambiental	5.84	3.45	2.39	59.08	10.04	4.11	5.93
3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo Ambiental	2.99	2.17	0.82	72.58	5.14	1.41	3.73
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo Ambiental	12.6	0.97	11.63	7.70	21.66	19.99	1.67
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo Ambiental	4.84	0.92	3.92	19.01	8.32	6.74	1.58
24	Boca mina Nv. +100 Lucho	Pasivo Ambiental	5.04	0.86	4.18	17.06	8.66	7.18	1.48
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo Ambiental	3.07	0.71	2.36	23.13	5.28	4.06	1.22
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo Ambiental	2.01	0.5	1.51	24.88	3.45	2.60	0.86
4	Ladera Cerre:Frente Hotel	Pasivo Ambiental	4.62	0.46	4.16	9.96	7.94	7.15	0.79
10	Dique parte intermedia	Pasivo Ambiental	2.84	0.42	2.42	14.79	4.88	4.16	0.72
2	Materiales abandonados	Pasivo Ambiental	4.25	0.28	3.97	6.59	7.30	6.82	0.48
23	Dique antiguo	Pasivo Ambiental	15.5	0.24	15.26	1.55	26.64	26.23	0.41
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	Operación	4.65	0.16	4.49	3.44	7.99	7.72	0.28
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	12.3	0.15	12.15	1.22	21.14	20.88	0.26
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	4.95	0.09	4.86	1.82	8.51	8.35	0.15
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo Ambiental	6.9	0.07	6.83	1.01	11.86	11.74	0.12
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	Operación	18.5	0.07	18.43	0.38	31.80	31.68	0.12
18	Desmonte cancha de futbol	Botadero reciente	0.29	0.07	0.22	24.14	0.50	0.38	0.12
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	Operación	13	0.06	12.94	0.46	22.34	22.24	0.10
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo Ambiental	4.24	0.06	4.18	1.42	7.29	7.18	0.10
11	Relave:Planta concentradora	Operación	23.2	0.05	23.15	0.22	39.88	39.79	0.09
22	Antes de San Miguel	Material fresco	3.58	0.04	3.54	1.12	6.15	6.08	0.07
8	Banqueta presa de relaves	Operación	4.56	0.04	4.52	0.88	7.84	7.77	0.07
1	Botadero de la Quinua	Operación	6.5	0.04	6.46	0.62	11.17	11.10	0.07
34	Nv. -440 Veta 5 Area 2	Operación	7.92	0.03	7.89	0.38	13.61	13.56	0.05
9	Dique parte superior	Operación	4.35	0.03	4.32	0.69	7.48	7.43	0.05
38	Nv -600 Veta 3 A 1	Operación	16	0.02	15.98	0.13	27.50	27.47	0.03
17	Desmonte frente a botadero	Botadero reciente	0.5	0.02	0.48	4.00	0.86	0.83	0.03
19	Desmonte Pariamarca	Botadero reciente	1.31	0.02	1.29	1.53	2.25	2.22	0.03
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1MM	Operación	7.8	0.02	7.78	0.26	13.41	13.37	0.03
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	13.12	0.02	13.1	0.15	22.55	22.52	0.03
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	26.6	0.02	26.58	0.08	45.72	45.68	0.03
37	Nv -600 Veta 5 A 1	Operación	9.29	0.01	9.28	0.11	15.97	15.95	0.02
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	Operación	9.78	0.01	9.77	0.10	16.81	16.79	0.02

(*) $\%(\text{S}_2\text{Fe}) = \% \text{S} * 110/64$



Las valoraciones de PA, PN que mas adelante discutiremos nos confirmaran con mayor precisión sobre el carácter de peligrosidad de cada una de las muestras para generar drenaje ácido

5.4.4.4 Relación entre el % de S soluble y pH en pasta.

En el **Cuadro N ° 5.3 y Figura N° 5. 4** se tiene un arreglo de la información obtenida correspondiente al tipo de material examinado, su estado de alteración, % de S oxidado o su equivalente como piritita oxidada y las medidas tomadas de pH-pasta. La información existente en el cuadro está arreglada en forma descendente para el % de piritita; la comparación con las otras columnas nos revela que existe importantes correlaciones; así tenemos : a mayor % de piritita oxidada el pH-pasta determinó valores entre 5 a 6 y por lo general correspondieron a muestras que se obtuvieron de pasivos ambientales, especialmente materiales abandonados de las antiguas laderas de exploración en áreas con afloramiento de intrusivo; es necesario recordar que estos materiales tienen poco álcalis, como tal, el material ácido es poco neutralizado. Por otro lado los materiales frescos o en operación con

baja proporción de pirita oxidada dieron valores de pH en pasta neutros o ligeramente alcalinos.

5.4.5 Potencial Acido (PA) (Determinaciones de S de la muestra)

5.4.5.1 Aspectos generales.

La determinación de S como sulfuro se realiza en base al análisis químico de la muestra por azufre total y azufre como sulfato. El contenido de azufre como sulfuro se calcula por diferencia. Para algunas muestras se requiere el análisis y corrección de azufre por Ba.

Como se mencionó anteriormente para la determinación del Azufre total se utilizó un método gravimétrico pasando todo el azufre como sulfato de bario.

Para las determinaciones del azufre soluble en las muestras, se les somete a una leve lixiviación con ácido, las soluciones que arrastran azufre, de la misma manera se les determina por precipitación del sulfato de bario.

5.4.5.2 Cálculos para determinar el Potencial ácido (PA).

Para el cálculo del Potencial Acido (PA) expresado en Kilos de CO₃Ca/TM de mineral se emplea la siguiente relación:

$$PA = \%S * (1000/100) * (98/32) * (100/98)$$

Donde:

%S = El contenido de Azufre como sulfuro

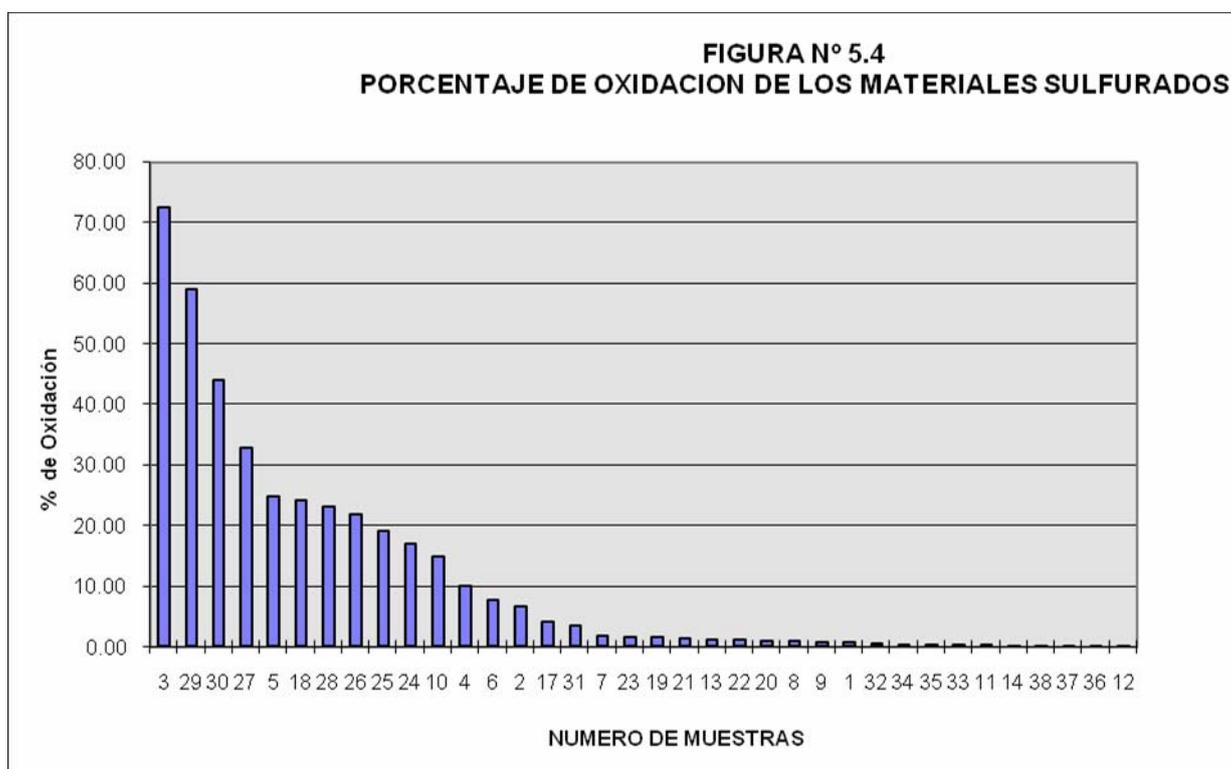
1000/100 = Conversión de % a TM de mineral

98/32 = Conversión del peso de Azufre a peso de ácido sulfúrico

98/100 = Conversión del Ácido Sulfúrico a Carbonato de calcio

Cuadro N ° 5.3 Relación entre el contenido de S oxidado, el porcentaje de pirita oxidada y el pH en Pasta

Número	UBICACIÓN	TIPO	% de S Oxidada	% Pirita Oxidada	pH-Pasta
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo Ambiental	32.79	6.88	6.05
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo Ambiental	44.11	6.75	6.65
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo Ambiental	21.91	6.70	5.45
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo Ambiental	59.08	5.93	6.6
3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo Ambiental	72.58	3.73	6.4
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo Ambiental	7.70	1.67	5.95
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo Ambiental	19.01	1.58	6.35
24	Boca mina Nv. +100 Lucho	Pasivo Ambiental	17.06	1.48	6.35
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo Ambiental	23.13	1.22	6.8
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo Ambiental	24.88	0.86	6.8
4	Ladera Cerre:Frente Hotel	Pasivo Ambiental	9.96	0.79	6.15
10	Dique parte intermedia	Pasivo Ambiental	14.79	0.72	6.8
2	Materiales abandonados	Pasivo Ambiental	6.59	0.48	7.05
23	Dique antiguo	Pasivo Ambiental	1.55	0.41	6.7
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	Operación	3.44	0.28	6
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	1.22	0.26	6.25
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	1.82	0.15	7.65
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo Ambiental	1.01	0.12	7.25
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	Operación	0.38	0.12	6.5
18	Desmonte cancha de futbol	Pasivo Ambiental	24.14	0.12	7.2
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	Operación	0.46	0.10	7.15
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo Ambiental	1.42	0.10	7.45
11	Relave:Planta concentradora	Operación	0.22	0.09	6.9
22	Antes de San Miguel	Pasivo Ambiental	1.12	0.07	xxx
8	Banqueta presa de relaves	Operación	0.88	0.07	7.6
1	Botadero de la Quinua	Operación	0.62	0.07	7.45
34	Nv. -440 Veta 5 Area 2	Operación	0.38	0.05	xxx
9	Dique parte superior	Operación	0.69	0.05	7.6
38	Nv -600 Veta 3 A 1	Operación	0.13	0.03	xxx
17	Desmonte frente a botadero	Pasivo Ambiental	4.00	0.03	7.05
19	Desmonte Pariamarca	Pasivo Ambiental	1.53	0.03	7.2
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1M	Operación	0.26	0.03	7.25
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	0.15	0.03	7.1
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	0.08	0.03	6.85



Resolviendo se alcanza:

$$PA = \%S * 31.25$$

El contenido de S de la muestra como S^{-2} , normalmente indica el potencial de acidez. Otra manera de conocer la acidez de la muestra es cuando se conoce el contenido de pirita de la muestra. A continuación mostramos las equivalencias entre el contenido de azufre y las correspondientes dadas en % de pirita:

$$PM \text{ del } S_2 Fe = 110$$

$$PM \text{ del } S_2 = 64$$

Cálculo de pirita:

$$\% (S_2Fe) = \% S * 110/64$$

Calculo de % S:

$$\% S = \% (\text{pirita}) * 64/110$$

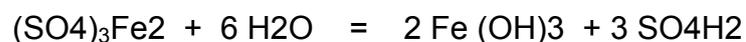
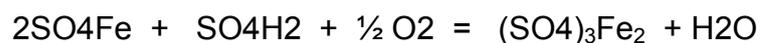
Aplicando esta última relación, teniendo como dato % de pirita, entonces se puede calcular el potencial ácido calculando 1ro el % de azufre y luego se halla PA aplicando las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned} PA &= \% S * 31.25 \\ PA &= \text{kilos de CO}_3\text{Ca/TM de mineral} \end{aligned}$$

En resumen, a la muestra debe determinarse el contenido de S como sulfuro (en %). Se mide el S total y el S soluble u oxidado, la diferencia de ambos nos da el S de sulfuros. y luego se aplica las relaciones descritas líneas arriba.

5.4.5.3 Reacciones principales de generación ácida:

En los capítulos anteriores se hizo una descripción de los fundamentos físicos químicos en el desarrollo del drenaje ácido de roca, sin embargo a manera de resumen copiaremos las ecuaciones fundamentales que se producen durante el desarrollo del drenaje ácido:



TOTAL:



La oxidación de dos moles de pirita hasta llegar a la precipitación de todo el Fe^{3+} origina 4 moles de ácido sulfúrico

5.4.5.4 Resultados.

En el **Cuadro 5.4 y Figura N ° 5.4** tenemos los valores calculados del Potencial Ácido de cada una de las muestras seleccionadas. Para darnos una idea más completa calcularemos cuál sería el PA para una muestra que tiene 100 % de pirita:

Contenido de S para la muestra 100% de S_2Fe

$$\% \text{S} = 100 * 64/110$$

$$\% \text{S} = 58.18$$

$$\text{PA} = \% \text{S} * 31.25$$

$$\text{PA} = 58.18 * 31.25$$

$$\text{PA} = 1818.18 \text{ kilos de } \text{CO}_3\text{Ca/ TM de pirita}$$

Debe interpretarse que 1000 kilos de pirita equivalen a 1818.2 de CO_3Ca o que para neutralizar 1000 kilos de pirita se requiere su equivalente de 1818.2 kilos de CO_3Ca .

En base a estos valores máximos de referencia nuestras muestras están en el orden de los 700 a 800 Kilos de carbonato/TM de mineral como PA lo que significa que las muestras contenían por lo menos 2/5 partes de pirita y los otros 3/5 por otros materiales o por lo menos es la cantidad de pirita que actualmente puede generar drenaje ácido.

Las muestras con mayores valores de PA se encontraron en los relaves sean estos antiguos o nuevos y en muestras puntuales obtenidas directamente de las vetas como Carmen de los niveles -660 y -400. Los menores valores de PA se hallaron en general en los materiales que conformaron desmontes o fueron utilizados como base para alguna obra civil; en general estos materiales se obtuvieron del desarrollo de la mina y corresponden a operaciones realizadas en sectores de calizas

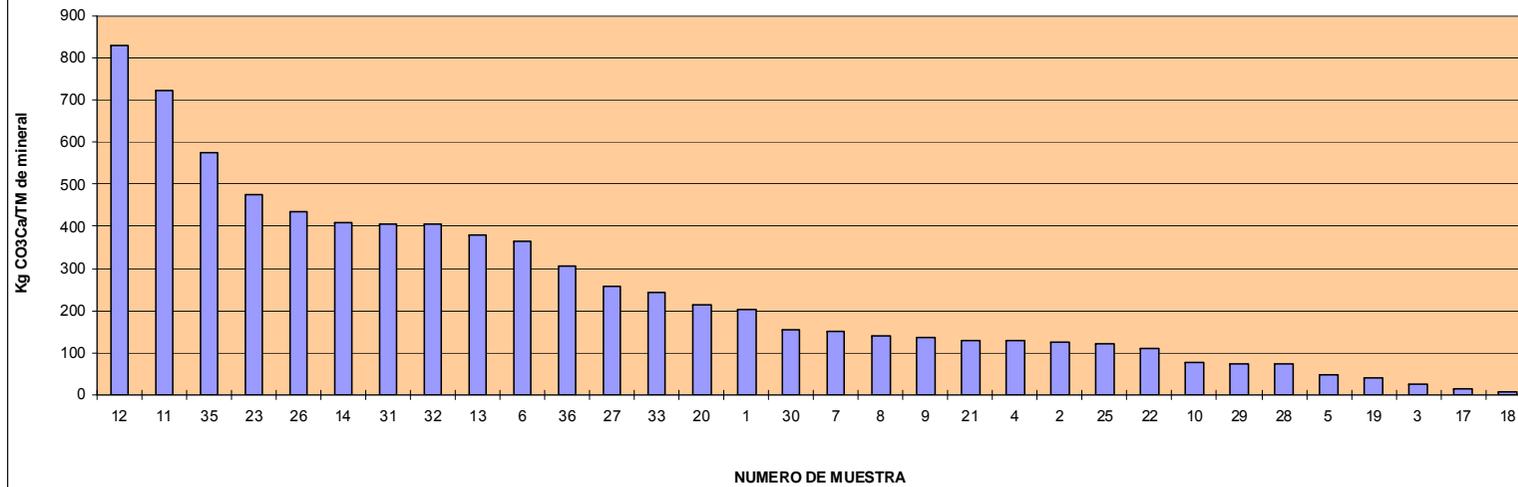
5.4.6 Cálculo del potencial de neutralización (PN)

El Potencial de Neutralización (PN) se determina utilizando un procedimiento de titulación básica en una muestra previamente acidificada. En el Anexo 5.3 se detalla el procedimiento para el cálculo del Potencial de neutralización

CUADRO Nº 5.4
POTENCIAL ACIDO: ORDENAMIENTO DESCENDENTE PARA DIFERENTES MUESTRAS

Número	UBICACION/TIPO	S Total %	S Soluble %	S Sulfuro %	% Soluble %	Potencial Acido Kg/TM miner
12	Relaves de ciclón: Arenas	26.6	0.02	26.58	0.08	830.63
11	Relave: Planta concentradora	23.2	0.05	23.15	0.22	723.44
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	18.5	0.07	18.43	0.38	575.94
38	Nv -600 Veta 3 A 1	16	0.02	15.98	0.13	499.38
23	Dique antiguo	15.5	0.24	15.26	1.55	476.88
26	Intrusivo Lucho: Base militar	17.8	3.9	13.9	21.91	434.38
14	Finos de drenaje La Quinua	13.12	0.02	13.1	0.15	409.38
32	Nv. -440 Carmen Norte 3 Area 2	13	0.06	12.94	0.46	404.38
13	Relaves de ciclón: Finos	12.3	0.15	12.15	1.22	379.69
6	Ladera de cerro: Carpintería	12.6	0.97	11.63	7.70	363.44
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	9.78	0.01	9.77	0.10	305.31
37	Nv -600 Veta 5 A 1	9.29	0.01	9.28	0.11	290.00
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	12.2	4	8.2	32.79	256.25
34	Nv. -440 Veta 5 Area 2	7.92	0.03	7.89	0.38	246.56
33	Nv. -440 Carmen Norte 3 Area 1MM	7.8	0.02	7.78	0.26	243.13
20	Poza: Medio Ambiente	6.9	0.07	6.83	1.01	213.44
1	Botadero de la Quinua	6.5	0.04	6.46	0.62	201.88
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	8.91	3.93	4.98	44.11	155.63
7	Dique en construc: La Quinua	4.95	0.09	4.86	1.82	151.88
8	Banqueta presa de relaves	4.56	0.04	4.52	0.88	141.25
31	Nv. -440 Carmen Norte 3 Area 1	4.65	0.16	4.49	3.44	140.31
9	Dique parte superior	4.35	0.03	4.32	0.69	135.00
21	Marginales: Túnel de la presa	4.24	0.06	4.18	1.42	130.63
24	Boca mina Nv. +100 Lucho	5.04	0.86	4.18	17.06	130.63
4	Ladera Cerre: Frente Hotel	4.62	0.46	4.16	9.96	130.00
2	Materiales abandonados	4.25	0.28	3.97	6.59	124.06
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	4.84	0.92	3.92	19.01	122.50
22	Antes de San Miguel	3.58	0.04	3.54	1.12	110.63
10	Dique parte intermedia	2.84	0.42	2.42	14.79	75.63
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	5.84	3.45	2.39	59.08	74.69
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	3.07	0.71	2.36	23.13	73.75
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	2.01	0.5	1.51	24.88	47.19
19	Desmonte Pariamarca	1.31	0.02	1.29	1.53	40.31
3	Ladera de cerro: Frente Cole	2.99	2.17	0.82	72.58	25.63
17	Desmonte frente a botadero	0.5	0.02	0.48	4.00	15.00
18	Desmonte cancha de futbol	0.29	0.07	0.22	24.14	6.88

**FIGURA Nº 5.5
POTENCIAL ACIDO DE MATERIALES MINEROS METALURGICOS**



12	Relaves de ciclón: Arenas	36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	2	Materiales abandonados
11	Relave:Planta concentradora	27	Intrusivo Nivel +170 Exito	25	Intrusivo Nv. =100 Lucho
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1MM	22	Antes de San Miguel
23	Dique antiguo	20	Poza: Medio Ambiente	10	Dique parte intermedia
26	Intrusivo Lucho:Base militar	1	Botadero de la Quinua	29	Intrusivo Nivel +80 Carmen
14	Finos de drenaje La Quinua	30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	28	Intrusivo Nivel +170 Carmen
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	7	Dique en construc: La Quinua	5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	8	Banqueta presa de relaves	19	Desmorte Pariamarca
13	Relaves de ciclón: Finos	9	Dique parte superior	3	Ladera de cerro: Frente Cole
6	Ladera de cerro:Carpintería	21	Marginales: Túnel de la presa	17	Desmorte frente a botadero
		4	Ladera deCerro: Frente Hotel	18	Desmorte cancha de fulbol

5.4.6.1 Minerales Consumidores de ácido (Cuadro N° 5.5)

CUADRO N° 5.5
RESUMEN DE MINERALES CONSUMIDORES DE ACIDO Y SUS CARACTERISTICAS DE NEUTRALIZACION

MINERAL	COMPOSICION	POTENCIAL DE CONSUMO DE ACIDO 1	pH DE AMORTIGUACION
Carbonatos			
Calcita	CO ₃ Ca	100	
Aragonita	CO ₃ Ca	100	5.5 - 6.9
Dolomita	MgCa(CO ₃) ₂	92	
Siderita	FeCO ₃	116	5.1 - 6.0
Magnesita	MgCO ₃	84	
Rodocrosita	MnCO ₃	115	
Witerita	BaCO ₃	196	
Amkerita	CaFe(CO ₃) ₂	108	
Hidróxidos			
Malaquita	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	74	5.1 - 6.0
Gibsita	Al(OH) ₃	26	4.3 - 3.7
Limonita/goetita	FeOOH	89	3.0 - 3.7
Manganita	MnOOH	88	
Brucita	Mg(OH) ₂	29	

Saskatchewan MPBC, 1991

Nota: El potencial de consumo de ácido se proporciona como el peso (g) del mineral requerido para tener el mismo efecto neutralizador que 100 gr de calcita. Por ejemplo, el peso mol de la Siderita es de 116 gramos, y el de la calcita 100 gramos. Por tanto, se requiere 116 gramos de siderita para suministrar la misma cantidad de alcalinidad que 100 g de calcita, a pesar de que ambos minerales no neutralizaran necesariamente aguas de pH bajo hasta el mismo nivel de pH (véase la columna de pH de amortiguación).

5.4.6.5 Resultados.

En el **Cuadro N ° 5.6** se tiene anotados los resultados del conjunto de muestras seleccionadas. La columna que representa el Potencial de Neutralización (PN) expresada en Kilos de CO₃Ca/TM de mineral esta ordenada en forma descendente y los valores mas altos se encuentran en el orden de los 700 a 950 kilos de carbonato/TM de mineral, se puede decir que el material está conformado entre un 70 a 95 % de materiales carbonatados. En el Cuadro se observa que los mayores valores corresponden a materiales mineros extraídos de la mina y que normalmente conformaban el material excedente del desarrollo de la mina. Se sabe que el desarrollo de la mina, formada por rampas, galerías de acceso, chimeneas, etc. se realizaron las obras en la Unidad

minera; así, el dique de la presa de relaves, base para caminos, taludes para las lagunas de sobre roca calcárea, estos materiales posteriormente fueron utilizados para lagunas de sedimentación, rellenos para nivelación de suelos, protecciones de riveras, etc. las muestras de estos materiales determinaron importantes valores del Potencial de Neutralización garantizando de esta manera la estabilidad química de estos depósitos.

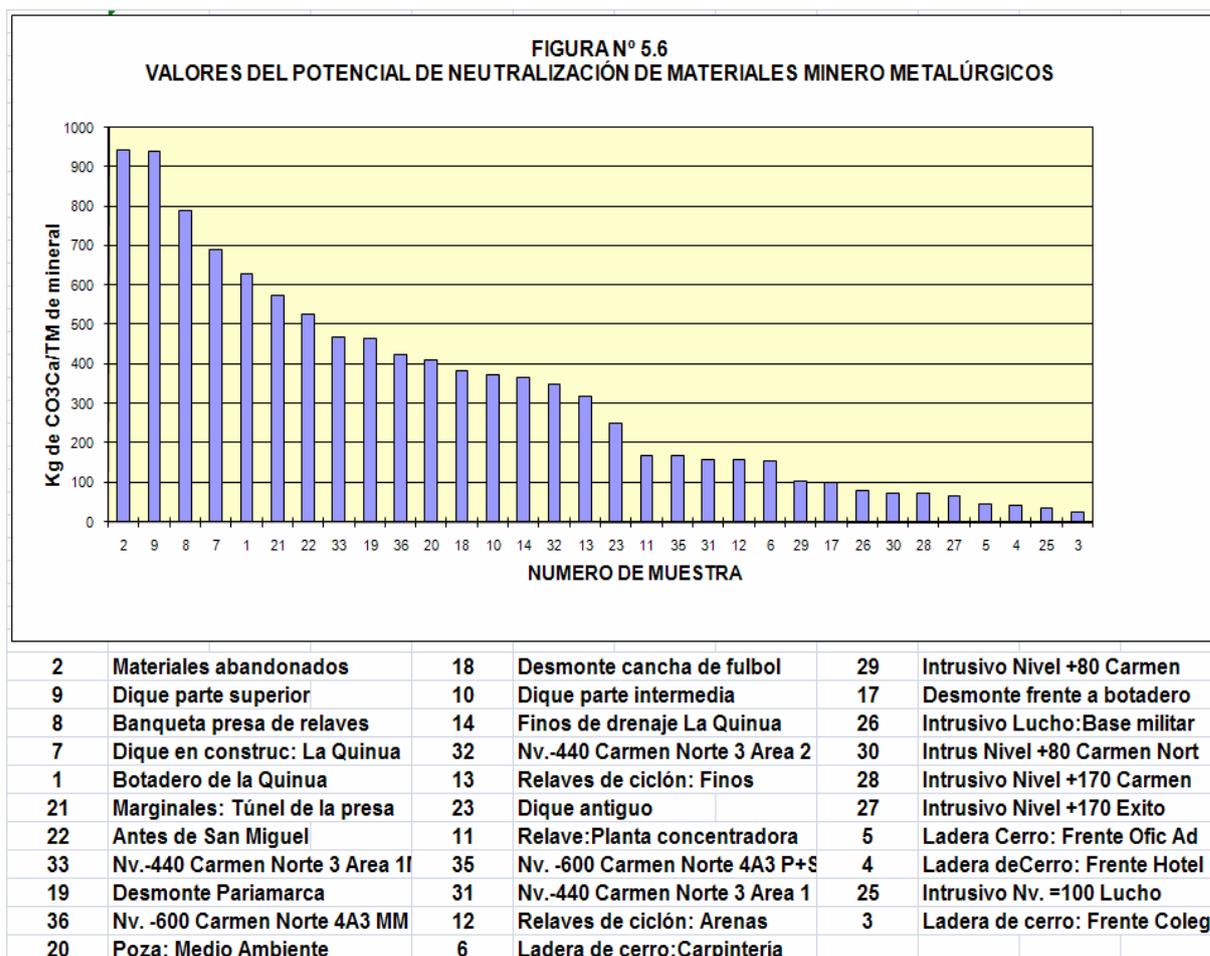
Los menores valores del Potencial de Neutralización (PN) se concentraron en los pasivos ambientales de las muestras seleccionados en el área de las antiguas laderas de exploración, las que corresponde a zonas con predominio de rocas intrusivas. En la **Figura N ° 5.6** tenemos representado los valores de PN determinadas para cada muestra, en ella podríamos distinguir tres grupos:

Los de alto contenido de PN (por encima de los 500 kilos/TM de mineral, los de bajo contenido de PN, por debajo de los 180 kilos de carbonato/TM de mineral y materiales con valores de PN intermedios.

Otras relaciones que encontramos en el cuadro son los siguientes:

Para el grupo de materiales con alto contenido de carbonatos, estos están referidos a los materiales de desarrollo de mina en zona de calizas y alejadas del cuerpo mineralizado de ahí su bajo PA; en el cuadro se observa que las 9 primeras muestras tienen alto carbonato y bajo PA. Las muestras ubicadas en la zona media los valores de PA aumentan significativamente de tal manera que pueden igualar o sobrepasar a los valores de PN. Finalmente se espera que para las muestras de bajo PN se obtenga altos valores de PA, sin embargo, esto no sucedió y se mantuvo valores relativamente bajos. Esta situación se explica porque estos materiales han sido fuertemente oxidados y buena parte transportados sus productos de oxidación. Estos materiales forman parte de las antiguas áreas exploradas en rocas intrusivas.

CUADRO N° 5.6					
VALORES DE POTENCIAL DE NEUTRALIZACION (PN) PARA DIFERENTES MUESTRAS SELECCIONADAS					
MUESTRA	UBICACION	TIPO	Potencial Neutralización kgCO3CA/TM	Potencial Acido Kg/TM miner	Potencial Neto Neutralización PNN
2	Materiales abandonados	Pasivo Ambiental (reciente)	941.250	124.063	817.188
9	Dique parte superior	Operación	937.500	135.000	931.250
8	Banqueta presa de relaves	Operación	787.500	141.250	646.250
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	688.500	151.875	536.625
1	Botadero de la Quinua	Operación	627.000	201.875	425.125
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo Ambiental (reciente)	574.922	130.625	444.297
22	Antes de San Miguel	Pasivo Ambiental (reciente)	524.754	110.625	414.129
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1MM	Operación	466.505	243.125	223.380
19	Desmante Pariamarca	Pasivo Ambiental	463.260	40.310	422.950
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	Operación	423.440	305.313	118.128
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo Ambiental	410.869	213.438	197.431
18	Desmante cancha de futbol	Pasivo Ambiental (reciente)	382.013	6.875	375.138
10	Dique parte intermedia	Pasivo Ambiental	373.500	75.630	354.125
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	364.500	409.375	-44.875
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	Operación	348.879	404.375	-55.496
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	316.500	379.688	-63.188
23	Dique antiguo	Pasivo Ambiental	248.925	476.875	-227.950
11	Relave:Planta concentradora	Operación	168.000	723.438	-555.438
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	Operación	167.847	575.938	-408.091
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	Operación	156.900	404.380	-247.480
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	155.625	830.625	-675.000
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo Ambiental	154.875	363.440	-302.313
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo Ambiental	103.030	74.690	28.340
17	Desmante frente a botadero	Pasivo Ambiental	98.640	15.000	83.640
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo Ambiental	77.300	434.375	-357.075
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo Ambiental	73.013	155.630	-82.618
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo Ambiental	73.013	73.750	-0.737
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo Ambiental	64.438	256.250	-191.813
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo Ambiental	43.500	47.188	-3.687
4	Ladera deCerro: Frente Hotel	Pasivo Ambiental	40.875	130.000	-89.125
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo Ambiental	35.038	122.500	-87.463
3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo Ambiental	25.125	25.625	-0.500



5.4.7 Potencial Neto de Neutralización (PNN)

5.4.7.1 Aspectos generales.

El PNN se calcula por diferencia entre el potencial de neutralización (PN) y el potencial ácido (PA). Ambos expresados en kilos de CO₃Ca/TM de mineral.

Con los resultados de PA y PN se puede determinar el potencial de drenaje ácido de roca:

$$\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA}$$

- Si $PN \gg PA$, entonces la muestra no es generadora de drenaje ácido.
- Si $PN \ll PA$, entonces la muestra es altamente generadora de ácido.
- Si $PN = PA$, el comportamiento es neutro pero con tendencia respecto al tiempo hacia la acidificación o alcalinización.

Por seguridad a valores de PNN entre +20 y -20 deberán considerarse como materiales en incertidumbre a la generación ácida

Para los dos últimos casos son importantes los exámenes mineralógicos de la muestra (liberación de partículas minerales; grado de alteración, microfisuras, etc.).

5.4.7.2 Resultados.

En el **Cuadro N° 5.7** se tiene anotados los resultados obtenidos del Potencial Neto de Neutralización PNN. La información está ordenada en forma ascendente partiendo de la muestra que alcanzó mayor valor negativo, luego hacia las muestras de menor valor negativo para pasar luego a las muestras con valores positivos.

Los materiales con PNN negativos son potencialmente generadores de ácido y en nuestra evaluación éstos están representados en los materiales que conforman los relaves, los materiales obtenidos de la veta Carmen Norte en cualquiera de sus niveles y las muestras provenientes del intrusivo donde se encuentra ubicada la veta Lucho. Por otro lado, las muestras que dieron valores de PNN positivos corresponden a las muestras ricas en carbonatos y que fueron extraídos del interior de la mina durante su desarrollo. La **Figura N° 5.6** grafica los niveles de PNN alcanzada por cada muestra.

En el cuadro, además se ha agregado la columna que suma los equivalentes de carbonatos que contiene la muestra sea éste como presencia de sulfuros expresados en su equivalente de carbonato y la

de carbonato propiamente dicha. Esta medida nos representa la capacidad de posible reacción que tiene la muestra y dependiendo de los valores de PNN podríamos estar hablando de materiales de alto riesgo para formar drenaje ácido o materiales excelentes para neutralizar cursos de drenaje ácido.

5.4.8 Relación PN/PA

5.4.8.1 Aspectos generales.

Esta relación ayuda a interpretar el posible comportamiento de una muestra respecto a su potencial de generar ácido. Así por ejemplo:

Si $PN/PA < 1$ el material va a generar drenaje ácido

Si $PN/PA = 1$ el material es neutro pero por seguridad o por una situación más conservadora este material podría tender a generar drenaje ácido o por lo menos material soluble.

Para valores $PN/PA > 2$ podría considerarse como un material que no va a generar drenaje ácido.

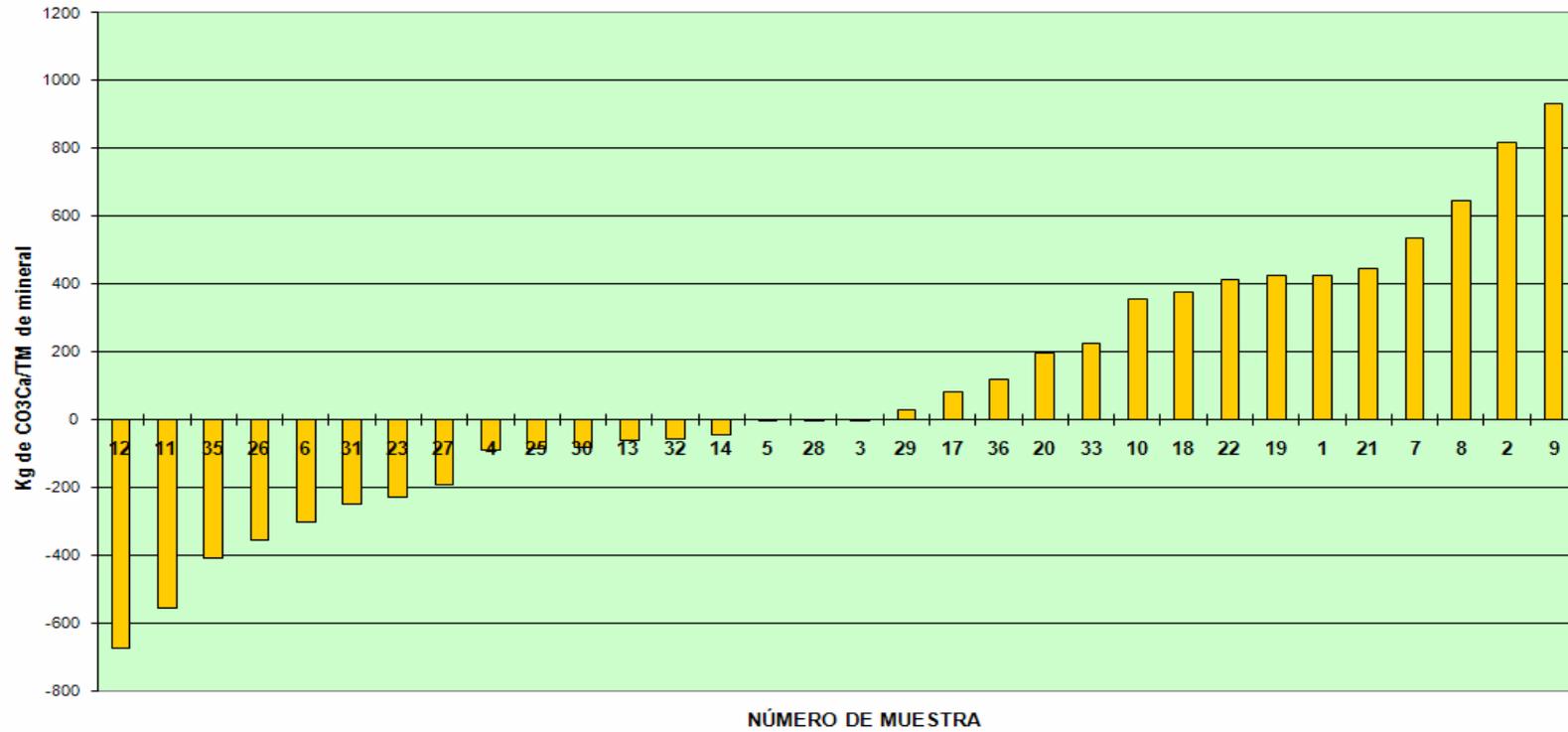
La relación PN/PA expresa un cambio de variación que mide cuantas veces es más o menos el uno respecto al otro: así por ejemplo para $PN/PA = 2$, significa que hay dos veces más álcalis que material ácido

CUADRO Nº 5.7

INF ORDENADA EN FORMA CRECIENTE PARA EL PARÁMETRO POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN PNN

MUESTRA	UBICACION	Tipo	Potencial de Neutralización kgCO ₃ CA/TM	Potencial Ácido Kg/TM miner	Cantidad Relativa kgCO ₃ CA/TM	Potencial Neto Neutralización PNN	Relación PN/PA
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	155.625	830.625	986.250	-675.000	0.187
11	Relave:Planta concentradora	Operación	168.000	723.438	891.438	-555.438	0.232
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 F	Operación	167.847	575.938	743.784	-408.091	0.291
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo ambiental	77.300	434.375	511.675	-357.075	0.178
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo ambiental	154.875	363.440	518.315	-302.313	0.426
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area	Operación	156.900	404.380	561.280	-247.480	0.388
23	Dique antiguo	Pasivo ambiental	248.925	476.875	725.800	-227.950	0.522
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo ambiental	64.438	256.250	320.688	-191.813	0.251
4	Ladera deCerro: Frente Hote	Pasivo ambiental	40.875	130.000	170.875	-89.125	0.314
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo ambiental	35.038	122.500	157.538	-87.463	0.286
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo ambiental	73.013	155.630	228.643	-82.618	0.469
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	316.500	379.688	696.188	-63.188	0.834
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area	Operación	348.879	404.375	753.254	-55.496	0.863
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	364.500	409.375	773.875	-44.875	0.890
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo ambiental	43.500	47.188	90.688	-3.687	0.922
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo ambiental	73.013	73.750	146.763	-0.737	0.990
3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo ambiental	25.125	25.625	50.750	-0.500	0.980
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo ambiental	103.030	74.690	177.720	28.340	1.379
17	Desmonte frente a botadero	Pasivo ambiental	98.640	15.000	113.640	83.640	6.576
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 M	Operación	423.440	305.313	728.753	118.128	1.387
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo ambiental	410.869	213.438	624.306	197.431	1.925
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area	Operación	466.505	243.125	709.630	223.380	1.919
10	Dique parte intermedia	Pasivo ambiental	373.500	75.630	449.130	354.125	4.939
18	Desmonte cancha de futbol	Pasivo ambiental	382.013	6.875	388.888	375.138	55.565
22	Antes de San Miguel	Pasivo ambiental	524.754	110.625	635.379	414.129	4.744
19	Desmonte Pariamarca	Pasivo ambiental	463.260	40.310	503.570	422.950	11.492
1	Botadero de la Quinua	Operación	627.000	201.875	828.875	425.125	3.106
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo ambiental	574.922	130.625	705.547	444.297	4.401
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	688.500	151.875	840.375	536.625	4.533
8	Banqueta presa de relaves	Operación	787.500	141.250	928.750	646.250	5.575
2	Materiales abandonados	Operación	941.250	124.063	1065.313	817.188	7.587
9	Dique parte superior	Operación	937.500	135.000	1072.500	931.250	6.944

FIGURA N° 5.6
POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACIÓN PARA MATERIALES MINERO-METALÚRGICOS



12	Relaves de ciclón: A	4	Ladera de Cerro: Frente	3	Ladera de cerro: Frente Cole	22	Antes de San Miguel
11	Relave: Planta conce	25	Intrusivo Nv. =100 Lu	29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	19	Desmante Pariamarca
35	Nv. -600 Carmen Nor	30	Intrus Nivel +80 Carn	17	Desmante frente a botadero	1	Botadero de la Quinua
26	Intrusivo Lucho: Bas	13	Relaves de ciclón: Fi	36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	21	Marginales: Túnel de la presa
6	Ladera de cerro: Carj	32	Nv.-440 Carmen Nor	20	Poza: Medio Ambiente	7	Dique en construc: La Quinua
31	Nv.-440 Carmen Nor	14	Finos de drenaje La	33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1f	8	Banqueta presa de relaves
23	Dique antiguo	5	Ladera Cerro: Frente	10	Dique parte intermedia	2	Materiales abandonados
27	Intrusivo Nivel +170 l	28	Intrusivo Nivel +170 l	18	Desmante cancha de futbol	9	Dique parte superior

5.4.8.2 Análisis e interpretación de la relación PN/PA.

Una baja relación de PN/PA ocurre en los siguientes casos:

Los valores de PN son pequeños en el orden de los 20 a 60 Kg de $\text{CO}_3\text{Ca/TM}$ de mineral, estos valores de bajo contenido de carbonato IOs encontramos en las muestras obtenidas de las laderas del Intrusivo, en la zona antigua de exploración (Muestras 3, 5, 28, 4, 27 y 25).

Otro de los casos es cuando el valor de PA es bastante grande, del orden de los 600 a 900 Kg de $\text{CO}_3\text{Ca/TM}$ de mineral, esto sucede en muestras ricas en piritas tales son los casos las concentraciones que ocurren en los relaves, especialmente en las arenas cicloneadas, otro caso común son las muestra puntuales obtenidas de una veta rica en piritas (muestras 12, 11 y 35 dentro las más importantes)

Finalmente si los dos casos anteriores ocurren simultáneamente, es decir bajo PN y alto PA.

5.4.8.3 Resultados.

En el **Cuadro N° 5.8** mostramos los diferentes valores de la relación PN/PA para todas las muestras examinadas y ordenadas en forma creciente. El ordenamiento confirma lo expuesto líneas arriba en relación a los valores de la relación PN/PA y los valores individuales de PN y PA. En el cuadro, además se incluye valores de PNN, en esta columna se observa que no necesariamente existe la misma correspondencia de crecimiento que la obtenida con la relación PN/PA, la no correspondencia se debe a que las relaciones PN-PA y PN/PA varían de diferente manera cuando se varía los valores de PN y PA; así por ejemplo para una relación de $\text{PN/PA} = 1$ donde $\text{PN} = \text{PA} = 500$ Kg de $\text{CO}_3\text{Ca/TM}$ de mineral, para una variación de PN a un nuevo valor como 400 por ejemplo, el valor de PNN = -100 y el valor de $\text{PN/PA} = 0.8$. de estos dos resultados, aparentemente los valores de PNN varían mas rápidamente que la relación PN/PA.

Por otro lado en el **Cuadro N° 5.8** observamos en la columna PNN, que las muestras 25, 26, 4, y 30 no siguen una distribución similar al de la columna PN/PA, es importante anotar que estas muestras son pasivos antiguos, expuesta por mucho tiempo a la intemperie del medio como tal han sido fuertemente oxidadas y sus productos de oxidación transportadas formando drenajes ácido. Como se tratan de materiales ubicados en roca intrusiva, entonces los valores de PN son relativamente bajos y ésto se acentúa si el material ha provocado acidez la que ha sido neutralizada por el poco material de PN, haciendo mucho mas sensible la escasez de PN, por esta razón la relación de PN/PA adquiere valores pequeños a pesar de contar con valores de PNN negativos no muy grandes.

En la Figura N° 5.8, tenemos graficada la relación PN/PA para los casos de $PN/PA > 2$ (muestras 2,9,8,7,21 y 1), estos valores representan muestras ricas en álcalis y son las obtenidas del interior de mina durante el desarrollo de ésta y por otro lado las muestras que dieron valores de $PN/PA < 1$, (31,35,11,12) representan a muestras ricas en sulfuros como son los casos de los relaves y las laderas intrusivas mineralizadas con piritas.

En la Figura N° 5.9 tenemos anotado otro conjunto de muestras ubicadas indistintamente y ocupando cualquiera de los tres zonas que identifican su calidad o no de ser generadores de drenaje ácido. Las muestras que se ubican hacia el eje de las ordenadas cuyos valores de $PN/PA > 2$ son los materiales que no van a generar drenaje ácido. Por otro lado los valores de las muestras que se aproximan hacia el eje de las equis es decir pendientes mas echadas: $PN/PA > 1$ representan las muestras con mayor potencial de generación ácida y finalmente tenemos

CUADRO N° 5.8							
INFORMACIÓN ORDENADA EN FORMA CRECIENTE PARA EL PARÁMETRO RELACIÓN PN/PA							
MUESTRA	UBICACION	Tipo	Potencial de Neutralización	Potencial Ácido	Cantidad Relativa	Potencial Neto Neutralización	Relación PN/PA
			kgCO3CA/TM	Kg/TM miner	kgCO3CA/TM	PNN	
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo ambiental	77.300	434.375	511.675	-357.075	0.178
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	155.625	830.625	986.250	-675.000	0.187
11	Relave:Planta concentradora	Operación	168.000	723.438	891.438	-555.438	0.232
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo ambiental	64.438	256.250	320.688	-191.813	0.251
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo ambiental	35.038	122.500	157.538	-87.463	0.286
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3	Operación	167.847	575.938	743.784	-408.091	0.291
4	Ladera deCerro: Frente Hotel	Pasivo ambiental	40.875	130.000	170.875	-89.125	0.314
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	156.900	404.380	561.280	-247.480	0.388
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo ambiental	154.875	363.440	518.315	-302.313	0.426
30	Intrus Nivel +80 Carmen Norte	Pasivo ambiental	73.013	155.630	228.643	-82.618	0.469
23	Dique antiguo	Pasivo ambiental	248.925	476.875	725.800	-227.950	0.522
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	316.500	379.688	696.188	-63.188	0.834
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	348.879	404.375	753.254	-55.496	0.863
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	364.500	409.375	773.875	-44.875	0.890
5	Ladera Cerro: Frente Ofic A	Pasivo ambiental	43.500	47.188	90.688	-3.687	0.922
3	Ladera de cerro: Frente Col	Pasivo ambiental	25.125	25.625	50.750	-0.500	0.980
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo ambiental	73.013	73.750	146.763	-0.737	0.990
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo ambiental	103.030	74.690	177.720	28.340	1.379
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3	Operación	423.440	305.313	728.753	118.128	1.387
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	466.505	243.125	709.630	223.380	1.919
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo ambiental	410.869	213.438	624.306	197.431	1.925
1	Botadero de la Quinua	Operación	627.000	201.875	828.875	425.125	3.106
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo ambiental	574.922	130.625	705.547	444.297	4.401
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	688.500	151.875	840.375	536.625	4.533
22	Antes de San Miguel	Pasivo ambiental	524.754	110.625	635.379	414.129	4.744
10	Dique parte intermedia	Pasivo ambiental	373.500	75.630	449.130	354.125	4.939
8	Banqueta presa de relaves	Operación	787.500	141.250	928.750	646.250	5.575
17	Desmonte frente a botadero	Pasivo ambiental	98.640	15.000	113.640	83.640	6.576
9	Dique parte superior	Operación	937.500	135.000	1072.500	931.250	6.944
2	Materiales abandonados	Operación	941.250	124.063	1065.313	817.188	7.587
19	Desmonte Pariamarca	Pasivo ambiental	463.260	40.310	503.570	422.950	11.492
18	Desmonte cancha de futbol	Pasivo ambiental	382.013	6.875	388.888	375.138	55.565

las muestras ubicadas en la zona media cuyos valores de PN/PA >1 ó PN/PA<2, para este caso son materiales teóricamente neutros, sin embargo, por condiciones de como se localizan las porciones de mineral, estas pueden generar ácido en situaciones específicas, por esta razón se les considera como materiales que excepcionalmente pueden generar drenaje ácido.

5.4.9 Cantidad de reacción.

Este parámetro se ha incluido como otro elemento que nos va a permitir evaluar mejor el potencial de drenaje ácido de las muestras: Este

parámetro de manera indirecta nos da información sobre la capacidad de reacción que puede tener la muestra; así por ejemplo: Para una relación de $PN/PA = 1$ medida en dos muestras diferentes, teniendo la primera un valor $PN = PA = 500$ Kilos de CO_3Ca/TM de mineral y la segunda $PN=PA=5$ Kilos de CO_3Ca/TM de mineral; para el primer caso la muestra tiene una alta capacidad de reacción y continuamente podría estar acidificándose y al mismo tiempo neutralizándose, el resultado es este caso es una solución neutra para con contenidos importantes de sulfatos calcio y otros iones metales. Para el segundo caso la muestra no va ofrecer reacción alguna o reacciones muy leves con pH neutro y poco producto soluble.

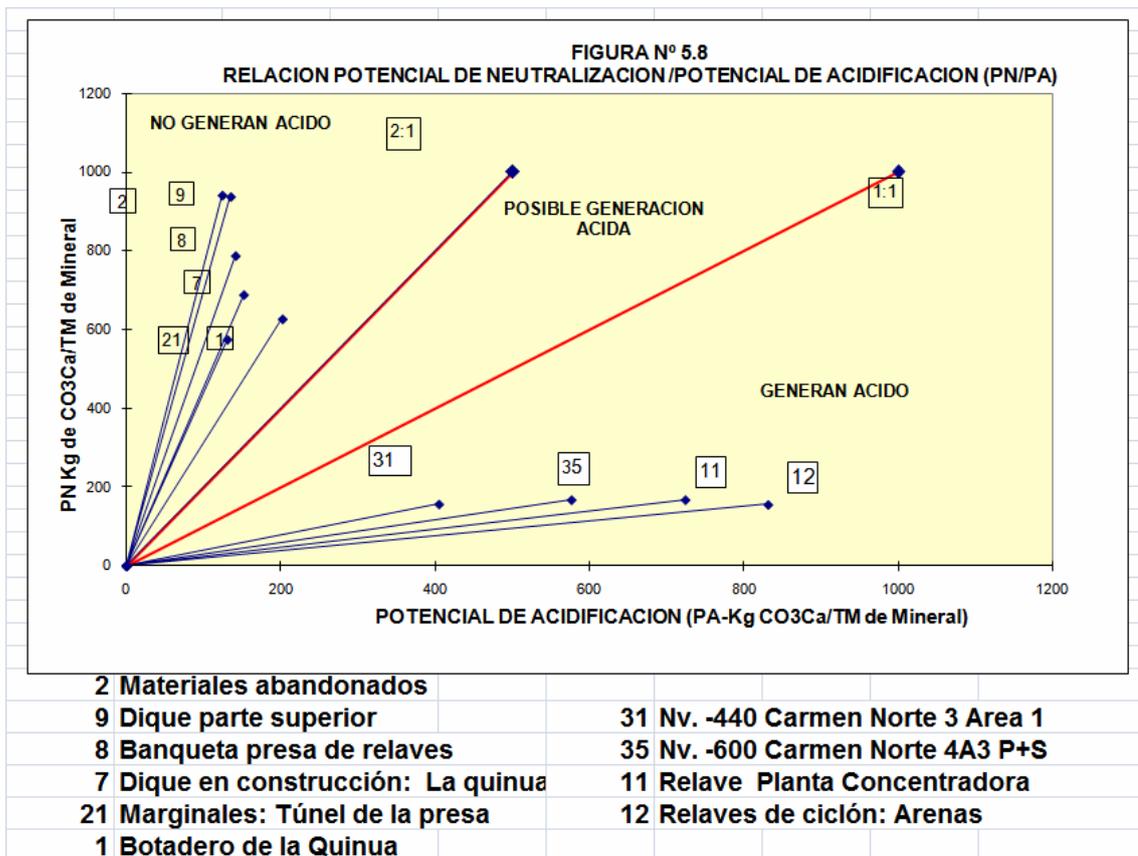
Una manera práctica de evaluar este potencial de reacción es sumando las cantidades de PA y PN medidas en kilos de CO_3Ca/TM de mineral ($Q_r =$ Cantidad de reacción)

En el **Cuadro N° 5.9** se tiene información relacionada a la cantidad de reacción (Q_r) ordenada en forma decreciente. En el cuadro se observa cierta relación con el parámetro de PNN en sus valores absolutos (sean + ó -), es decir, alto valor de cantidad de reacción con altos valores de PNN sean estos positivos (alto álcalis) o negativos (fuertemente generadores de ácido). En el otro extremos tenemos bajos valores de cantidad de reacción que correlaciona con bajos valores de PNN sean estos positivos o negativos.

5.4.10 Interpretación de resultados de pruebas estáticas

5.4.10.1 Aspectos generales.

Para comodidad de la interpretación es importante seleccionar la información confeccionando tablas con los siguientes parámetros:



* Azufre total

* Azufre como Sulfato

* pH en pasta

* Potencial máximo de acidez: PA

* Potencial de neutralización: PN

* Potencial neto de neutralización : PNN

* Relación de PN/PA.

* Cantidad de reacción: Qr

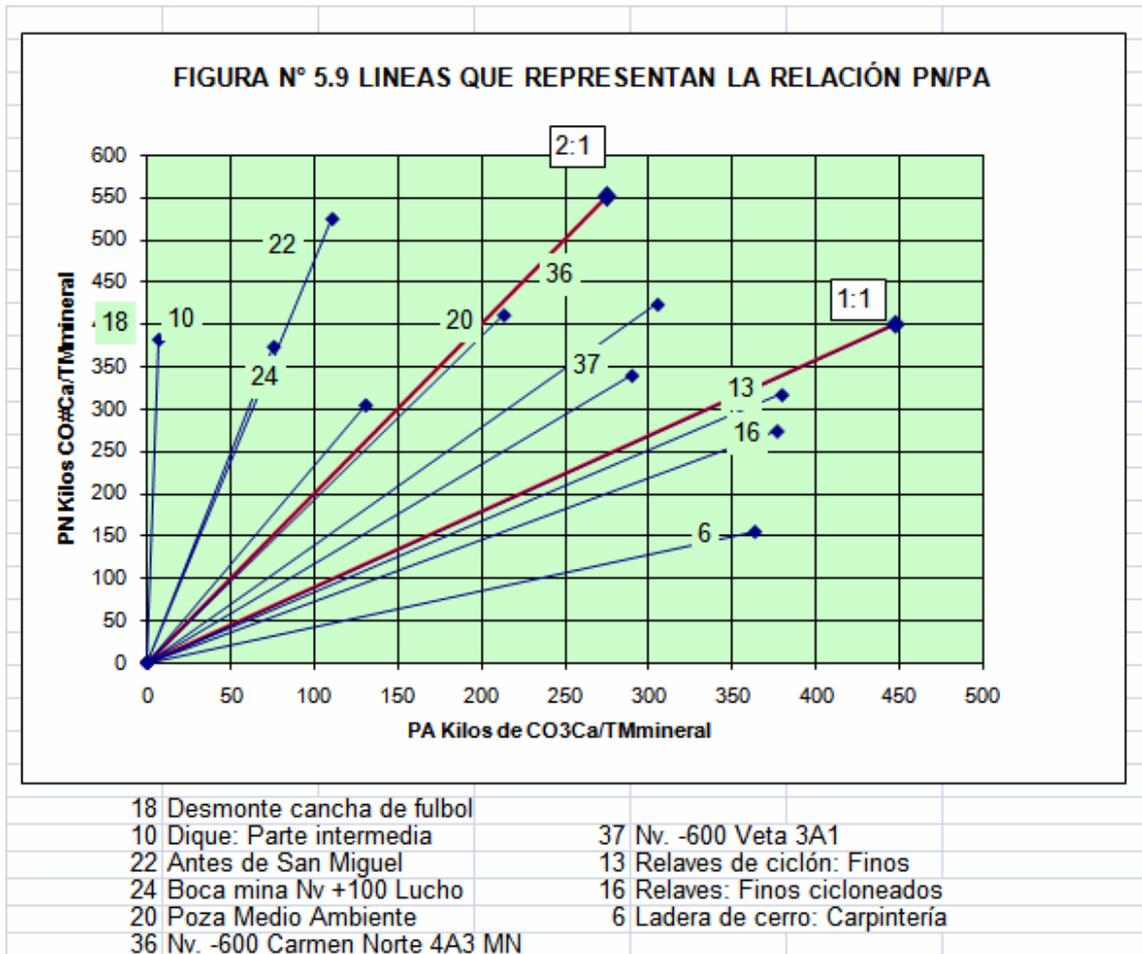
5.4.10.2 Relaciones a tomarse en consideración:

a) Relación PN/PA:

* Bajo o nulo potencial de generación ácida. Si: $PN/PA > 2$

* Potencial marginal de generación ácida. Si: $PN/PA = 1$

* Alto potencial. Si: $PN/PA < 1$



b). Relación $PN - PA = PNN$

- * Bajo o nulo potencial de generación ácida. Si: $PNN > 20$
- * Potencial marginal de generación ácida. Si: $PNN < 20$
- $PNN > 1$
- * Alto potencial. Si: $PNN < 1$.

c) Cantidad de reacción

- De bajo riesgo si $PN+PA < 100$ kilos de CO_3Ca/TM de mineral.
- De alto riesgo si $PN+PA > 600$ kilos de CO_3Ca/TM de mineral

CUADRO N° 5.9							
INFORMAC ORDENADA EN FORMA CRECIENTE PARA EL PARÁMETRO POTENCIAL CANTIDAD DE REACCIÓN: Qr							
MUESTRA	UBICACIÓN	Tipo	Potencial de Neutralización	Potencial Acido	Cantidad de reacción	Potencial Neto Neutralización	Relación PN/PA
			kgCO3CA/TM	Kg/TM miner	kgCO3CA/TM	PNN	
9	Dique parte superior	Operación	937.500	135.000	1072.500	931.250	6.944
2	Materiales abandonados	Operación	941.250	124.063	1065.313	817.188	7.587
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	155.625	830.625	986.250	-675.000	0.187
8	Banqueta presa de relaves	Operación	787.500	141.250	928.750	646.250	5.575
11	Relave:Planta concentradora	Operación	168.000	723.438	891.438	-555.438	0.232
7	Dique en construc: La Quinua	Operación	688.500	151.875	840.375	536.625	4.533
1	Botadero de la Quinua	Operación	627.000	201.875	828.875	425.125	3.106
14	Finos de drenaje La Quinua	Operación	364.500	409.375	773.875	-44.875	0.890
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	348.879	404.375	753.254	-55.496	0.863
35	Nv.-600 Carmen Norte 4A3	Operación	167.847	575.938	743.784	-408.091	0.291
36	Nv.-600 Carmen Norte 4A3	Operación	423.440	305.313	728.753	118.128	1.387
23	Dique antiguo	Pasivo ambiental	248.925	476.875	725.800	-227.950	0.522
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	466.505	243.125	709.630	223.380	1.919
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo ambiental	574.922	130.625	705.547	444.297	4.401
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	316.500	379.688	696.188	-63.188	0.834
22	Antes de San Miguel	Pasivo ambiental	524.754	110.625	635.379	414.129	4.744
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo ambiental	410.869	213.438	624.306	197.431	1.925
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Are	Operación	156.900	404.380	561.280	-247.480	0.388
6	Ladera de cerro: Carpintería	Pasivo ambiental	154.875	363.440	518.315	-302.313	0.426
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo ambiental	77.300	434.375	511.675	-357.075	0.178
19	Desmote Pariamarca	Pasivo ambiental	463.260	40.310	503.570	422.950	11.492
10	Dique parte intermedia	Pasivo ambiental	373.500	75.630	449.130	354.125	4.939
18	Desmote cancha de futbol	Pasivo ambiental	382.013	6.875	388.888	375.138	55.565
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo ambiental	64.438	256.250	320.688	-191.813	0.251
30	Intrus Nivel +80 Carmen Norte	Pasivo ambiental	73.013	155.630	228.643	-82.618	0.469
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo ambiental	103.030	74.690	177.720	28.340	1.379
4	Ladera deCerro: Frente Hotel	Pasivo ambiental	40.875	130.000	170.875	-89.125	0.314
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo ambiental	35.038	122.500	157.538	-87.463	0.286
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo ambiental	73.013	73.750	146.763	-0.737	0.990
17	Desmote frente a botadero	Pasivo ambiental	98.640	15.000	113.640	83.640	6.576
5	Ladera Cerro: Frente Ofic A	Pasivo ambiental	43.500	47.188	90.688	-3.687	0.922
3	Ladera de cerro: Frente Col	Pasivo ambiental	25.125	25.625	50.750	-0.500	0.980

5.4.10.3 Alternativas a seguir.

Nivel de riesgo	Evaluación Mineralógica y petrográfica	Pruebas de cinética batch	Pruebas de toxicidad metálica	Pruebas continuas columnas y pilotaje
Sin riesgo	NO	NO	NO	NO
Posibilidades de DAR	SI	SI	NO	NO
Presencia notable de DAR	SI	SI	SI	NO
Peligrosos	SI	SI	SI	SI

5.4.10.4 Resultados.

Los tres parámetros analizados líneas arriba están representados en el **Cuadro N° 5.10** donde las diferentes valores de las muestras están representadas con fondo de color indicando para el caso de valores con mayor o alto nivel de riesgo de color rojo, de mediano riesgo pero importante de color naranja y de menor riesgo pero atendible, de color amarillo; todos ellos referidos al potencial de generación ácida. De este cuadro desprendemos que los muestras mas riesgosas ocupan el siguiente orden:

Muestra 12: relaves de ciclón: arenas

Muestra 11: Relaves: Planta Concentradora.

Muestra 35: Nv. -600 Carmen Norte 4^a3 P +S

Muestra 26: Intrusivo Lucho: Base militar

Muestra 25: Intrusivo nivel +100 Lucho

5.5 **Resultados generales.**

Los resultados más importantes para caracterizar cada uno de las muestras examinadas en su capacidad o no de generar drenaje ácido son los siguientes:

- El programa de muestreo abarca el examen de 36 muestras seleccionadas de tal manera de tener suficiente representación para los siguientes casos:

CUADRO N° 5.10							
INFORMACIÓN SELECCIONADA Y COLOREADA SEGÚN SU NIVEL DE PELIGROSIDAD:							
Rojo = Muy alta; Naranja = Menor que el rojo; Amarillo = Menor que el Naranja							
MUESTRA	UBICACIÓN	Tipo	Potencial de	Potencial	Cantidad	Potencial Neto	Relación
			Neutralizac	Acido	Relativa	Neutralización	
			kgCO ₃ CA/TM	Kg/TM miner	kgCO ₃ CA/TM	PNN	PN/PA
26	Intrusivo Lucho:Base militar	Pasivo ambiental	77.300	434.375	511.675	-357.075	0.178
12	Relaves de ciclón: Arenas	Operación	155.625	830.625	986.250	-675.000	0.187
11	Relave:Planta concentradora	Operación	168.000	723.438	891.438	-555.438	0.232
27	Intrusivo Nivel +170 Exito	Pasivo ambiental	64.438	256.250	320.688	-191.813	0.251
25	Intrusivo Nv. =100 Lucho	Pasivo ambiental	35.038	122.500	157.538	-87.463	0.286
35	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 P+S	Operación	167.847	575.938	743.784	-408.091	0.291
4	Ladera deCerro: Frente Hotel	Pasivo ambiental	40.875	130.000	170.875	-89.125	0.314
31	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1	Operación	156.900	404.380	561.280	-247.480	0.388
6	Ladera de cerro:Carpintería	Pasivo ambiental	154.875	363.440	518.315	-302.313	0.426
30	Intrus Nivel +80 Carmen Nort	Pasivo ambiental	73.013	155.630	228.643	-82.618	0.469
23	Dique antiguo	Pasivo ambiental	248.925	476.875	725.800	-227.950	0.522
13	Relaves de ciclón: Finos	Operación	316.500	379.688	696.188	-63.188	0.834
32	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 2	Operación	348.879	404.375	753.254	-55.496	0.863
14	Finos de drenaje La Quinoa	Operación	364.500	409.375	773.875	-44.875	0.890
5	Ladera Cerro: Frente Ofic Ad	Pasivo ambiental	43.500	47.188	90.688	-3.687	0.922
3	Ladera de cerro: Frente Cole	Pasivo ambiental	25.125	25.625	50.750	-0.500	0.980
28	Intrusivo Nivel +170 Carmen	Pasivo ambiental	73.013	73.750	146.763	-0.737	0.990
29	Intrusivo Nivel +80 Carmen	Pasivo ambiental	103.030	74.690	177.720	28.340	1.379
36	Nv. -600 Carmen Norte 4A3 MM	Operación	423.440	305.313	728.753	118.128	1.387
33	Nv.-440 Carmen Norte 3 Area 1M	Operación	466.505	243.125	709.630	223.380	1.919
20	Poza: Medio Ambiente	Pasivo ambiental	410.869	213.438	624.306	197.431	1.925
1	Botadero de la Quinoa	Operación	627.000	201.875	828.875	425.125	3.106
21	Marginales: Túnel de la presa	Pasivo ambiental	574.922	130.625	705.547	444.297	4.401
7	Dique en construc: La Quinoa	Operación	688.500	151.875	840.375	536.625	4.533
22	Antes de San Miguel	Pasivo ambiental	524.754	110.625	635.379	414.129	4.744
10	Dique parte intermedia	Pasivo ambiental	373.500	75.630	449.130	354.125	4.939
8	Banqueta presa de relaves	Operación	787.500	141.250	928.750	646.250	5.575
17	Desmonte frente a botadero	Pasivo ambiental	98.640	15.000	113.640	83.640	6.576
9	Dique parte superior	Operación	937.500	135.000	1072.500	931.250	6.944
2	Materiales abandonados	Operación	941.250	124.063	1065.313	817.188	7.587
19	Desmonte Pariamarca	Pasivo ambiental	463.260	40.310	503.570	422.950	11.492
18	Desmonte cancha de futbol	Pasivo ambiental	382.013	6.875	388.888	375.138	55.565

- Muestras de pasivos ambientales (2, 3, 4, 6, 20, 21, 22, 27, 28, etc.) y muestras actuales, es decir obtenidas durante la operación (1, 8, 9, 11,12,13 32, 33, 34) etc.
- Muestras de granulometría fina como son los relaves antiguos y los relaves nuevos, así como material de roca como son los obtenidos de botaderos, para ambos casos se aplicaron diferentes sistemas para alcanzar una muestra representativa.

- Muestras compósito como las del dique de la presa de relaves y muestras puntuales como las obtenidas en el interior mina en roca previamente seleccionada
 - Muestras en lugares que por su colorido y presencia de aguas ácidas determinaron focos de contaminación y otras que a pesar del tiempo de estar expuestas al medio no mostraron signos de ser materiales generadores de ácido
 - Finalmente se tomaron muestras localizadas en zonas cercanas a poblaciones o se encontraron muy cerca a la rivera del río.
-
- Se hicieron mediciones de pH en pasta, S Total, S soluble y se calculó el contenido de azufre como sulfuro. Con estos valores se determinó para cada muestra el grado de oxidación ya sufrida, además se correlacionó el grado de oxidación con los valores de pH en pasta.
 - Las determinaciones del Potencial de acidificación (PA) se hallaron por el contenido de azufre como sulfuro y se asumió que el total de azufre determinado representaba el total de pirita existente en la muestra. El PA por otro lado, está expresado en su equivalente de Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral. ; una medida rápida para alcanzar estos valores es multiplicar el contenido de S dado en % por la constante de 31.25. Los máximos valores hallados se encuentran en el orden de 700 a 800 Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral y en la muestra estos valores representan aproximadamente un 40 a 45 % de pirita.
 - Se determinaron los Potenciales de Neutralización (PN) de todas las muestras, utilizando un procedimiento de titulación básico en una muestra previamente acidificada con HCl diluido. Los resultados fueron expresados en su equivalente de Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral, de esta manera poder comparar con los valores de PA las que se encuentran representadas en las mismas

unidades de medida. Los mayores valores alcanzaron los 700 a 900 Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral y que en la muestra representan un 70 a 90 % de material constituido por piedra caliza.

- Con los valores de PA y PN se determinaron las relaciones que nos van a permitir analizar la potencialidad de ser un material generador o no de ácido, de esta manera se calculó Potencial Neto de Neutralización ($\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA}$), la relación PN/PA y la cantidad probable de reacción (Q_r). Para todos los casos se mostraron cuadros con los correspondientes valores hallados y ordenados sean en forma ascendente o descendente, de tal manera de alcanzar una mejor visualización de la calidad de la muestra, estas características además fueron representadas en gráficas y esquemas.

5.6 Materiales a evaluarse como aspectos del Programa del SGA

Los diferentes resultados en términos de potencial generación ácida, nos caracteriza los siguientes tipos de materiales.

- a) Los más peligrosos, provenientes de las zonas mineralizadas (altos contenidos de PA) y localizados en los intrusivos (bajos valores de PN), en general, después de las actividades mineras, las podemos encontrar tanto INSITU como procesados; para este último caso los concentrados son beneficiados y los relaves en dos posibles presentaciones como finos en relaveras y en arenas gruesas, sea formando dique de depósitos de relaves o para uso en interior mina como relleno hidráulico
- b) Los peligrosos y también se refiere a aquellos materiales que forman parte del yacimiento minero y además, ubicados en roca calcárea (su PN es más notable que en el grupo a) y de ahí su menor

peligrosidad, estos materiales al igual que el primer grupo generan materiales INSITU y materiales finos.

- c) El tercer grupo está conformado por los materiales de desarrollo de mina alejados del cuerpo mineralizado (PA relativamente bajo) y en zona de roca intrusiva (PN bajo), estas características lo hacen materiales de baja reactividad, prácticamente inertes y se encuentran conformando los botaderos y si la roca es competitiva mecánicamente, entonces es utilizada como material de base para obras civiles
- d) Este grupo es similar al anterior, pero su ubicación original se encontraba en roca calcárea; estos materiales por su bajos valores de PA y de altos valor de PN son materiales inofensivos desde el punto de vista del DAR al medio ambiente

Por otro lado, las diferentes muestras representan grupos de materiales que quedan definidos no sólo por su naturaleza de generación de drenaje ácido, sino además por otros factores que están relacionados a la generación del drenaje ácido ; así por ejemplo ubicación respecto a la cercanía del oxígeno, esto es si la partícula de sulfuro está directamente relacionada al aire, o si se encuentra cerca a una fuente de agua, si los materiales evaluados pertenecen a una zona determinada con similitud en sus componentes mineralógicos o petrológicos, materiales si estos se encuentran formando finos o gruesos, etc.

Tomando estas consideraciones se han definido los siguientes materiales para su evaluación como aspecto ambiental significativo en la unidad minera

- Yacimiento minero, especialmente ubicado en zona de intrusivo y aun más si se encuentra cerca a superficie
- Depósitos de relaves. conformados por los finos de cicloneado

- Dique del depósito de relaves. Conformados por material de mina alejados del cuerpo mineralizado
- Botaderos de material de mina. Materiales estériles y en algunos casos minerales marginales
- Botaderos de material marginal. Si se extrajeron en zona intrusiva son materiales peligrosos
- Áreas disturbadas por exploraciones. Si se ubican en zona intrusiva y cerca a cuerpos mineralizados son peligrosos
- Depósitos de relaves antiguos.
- Dique de antiguos depósitos de relaves. Estos diques se construyeron con material grueso de relaves previamente seleccionados por cicloneado
- Botaderos antiguos de materiales mineros.
- Galerías abandonadas. Dependiendo del lugar respecto al cuerpo mineralizado si es alejado es menos peligroso, que si se encuentra dentro del cuerpo mineralizado
- Material sedimentable.
- Materiales de apoyo a obras civiles. Por lo general son materiales de desarrollo de mina es decir alejados del cuerpo mineralizado y en zona calcárea; estos no son peligrosos
- Materiales ubicados en antiguas labores mineras.

5.7 Conclusiones y Recomendaciones.

De las evaluaciones realizadas a más de 36 muestras del yacimiento minero, destacamos las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El programa de muestreo permitió tomar muestras de todos los posibles materiales que se manejan en el emplazamiento minero, además de todos aquellos que se encuentran en calidad de pasivos ambientales. El resultado de este plan de muestreo ha permitido determinar las condiciones en que se encuentran estos

materiales en el marco del Potencial de Generación Acido; además, se ha conseguido información de la procedencia de esos materiales, sus orígenes, grado de alteración, etc., información necesaria para desarrollar los programas de mitigación de impactos.

- Con las evaluaciones de Potencial Acido (PA), Potencial de Neutralización (PN); determinaciones de PH-pasta y porcentaje de solubilidad de una muestra, se ha podido conocer qué materiales son o no potencialmente drenadores de ácido, además, qué materiales ofrecen mayor grado de riesgo. Esta información permitirá definir con mayor claridad el programa de prevención y de mitigación del drenaje ácido en el emplazamiento minero.
- Los diferentes resultados aplicados a las muestras seleccionadas indican que los materiales con mayores valores de generación de drenaje ácido y que alcanzaron valores de PNN < -500 Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral o relaciones de PN/PA < de 0.5, son aquellos que constituyen los residuos de las plantas concentradoras, es decir los relaves y en especial las arenas de una operación de cicloneado. Otro grupo importante de muestras con alto potencial de generación ácida se ubicó en las muestras de la zona de antiguos donde se hizo exploraciones y explotaciones sobre roca intrusiva especialmente de las vetas Don Lucho y Carmen Norte. Por otro lado, las muestras más seguras, es decir con mayor proporción de álcalis fueron las obtenidas del dique, de la base de la cancha de fútbol, del botadero de materiales mineros, etc. En muchos de los casos se alcanzaron valores de PNN de hasta 800 Kilos de $\text{CO}_3\text{Ca}/\text{TM}$ de mineral., es decir materiales que no van a generar drenaje ácido, al contrario su alto contenido de álcalis, ofrece la oportunidad de considerarlos como material a ser utilizado en los planes de cierre,

sea como capas ricas en álcalis útil para neutralizar aquellos materiales con alto potencial de generación ácida.

- La mayor parte de los pasivos ambientales, con valores importantes de ser generadores de ácido, han estado generando ácido desde hace varios años. Los contenidos de azufre soluble, (en algunos casos alcanzan el 50% del total de azufre) los valores de pH en pasta cercanos a 5; la baja cantidad de material de reacción (Qr), nos permite afirmar que estos materiales desde hace buen tiempo han estado generando drenaje ácido. La mayor parte de muestras corresponden a las zonas rojizas de las laderas de las antiguas exploraciones mineras metalúrgicas del sector denominado intrusivo.
- El conocimiento de la génesis del yacimiento, así como la información lograda de las diferentes muestras nos permiten formular conclusiones generales y recomendar acciones para un mejor manejo del drenaje ácido. Todas las operaciones mineras deberán hacerse sobre roca calcárea y de ninguna manera tocar el intrusivo. Si la veta se encuentra en el intrusivo, la explotación minera deberá tomar todas las previsiones para no romper mas material del necesario y los sobrantes o residuos atenderlos en la medida de lograr una mitigación anticipada para evitar que a futuro el material produzca drenaje ácido.
- El desarrollo en profundidad de la mina, que se realizó sobre roca calcárea, confirmó las conclusiones a que se estaba llegando. Todos los materiales extraídos y que se depositaron en diferentes lugares (barreras de protección contra el río, base para la construcción de canchas de fútbol o de parques, dique de la actual presa de relaves, base para caminos, etc.) mostraron ser materiales resistentes y lo más importante estables desde el punto

de vista químico. Actualmente se tiene acumulado en un botadero cerca de ½ millón de toneladas de material rico en álcalis. Este material a corto plazo puede ser utilizado como material de mezcla o de cubierta para combatir el posible drenaje ácido de otros materiales como son los casos de los relaves mineros.

- Con los resultados alcanzados hasta ahora se ha determinado, qué materiales son o no generadores de ácido, además del nivel de peligrosidad o riesgo, de acuerdo a parámetros complementarios como cercanía a un poblado o curso de agua, o a la cantidad de - PNN alcanzado o magnitud de reacción del material, de esta información es posible diseñar el Programa de Gestión Ambiental para minimizar la formación de drenaje ácido en el emplazamiento minero de conformidad con los diferentes programas propuestos. Así se tiene:
- Para el programa preventivo tomar en consideración la procedencia del mineral, si ésta es extraída de zona intrusiva o calcárea, para el primer caso, deberá evaluarse todas las posibilidades para no romper estos materiales o hacerlo en las cantidades menores posibles y luego hacer una remediación rápida de los excedentes.
- Otra medida preventiva es ubicar lugares dónde pueden ser colocados estos materiales, en general que sea fácil el control del acceso del aire. (Materiales de relleno en el interior de la mina; materiales que pueden estar continuamente sumergidos sobre un acuífero, materiales que pueden ser enterrados y utilizar cubiertas de protección, etc.
- Realizar las acciones de remediación en los materiales definidos como posibles generadores de ácido; la remediación puede ser : trasladando los materiales a zonas de mejor control o un tratamiento directo, favoreciendo cubiertas de protección.

- Conocidos todos los pasivos ambientales con posibilidades de generación ácido y contando con el suficiente material de neutralización, realizar la mitigación de mezcla para garantizar nuevas mezclas que aseguren un potencial seguro de neutralización.
- Para el caso de drenaje ácido, se tomarán las acciones de tratamiento de las aguas ácidas, desde tecnologías preventivas hasta los tratamientos directos como son las plantas de neutralización.
- Con estos primeros resultados se ha identificado a los diferentes materiales evaluados en sus valores de PNN, es decir se ha seleccionado los aspectos ambientales que nos interesa evaluar, en el marco de su potencial de generación ácida. En el siguiente capítulo con la aplicación del SGA, continuaremos con la evaluación de los AA, viendo su importancia y valorizándolos en su posible desarrollo del DAR, de esta manera alcanzaremos a definir los AAS. Luego las actividades críticas y demás actividades de planificación
- El último punto a desarrollar, con la ayuda a los diferentes parámetros que caracterizan el DAR el desarrollo del PMA

CAPITULO VI

APLICACIÓN DEL PROGRAMA DE GESTION AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL DAR: CASO YACIMIENTO POLIMETALICO

6.1 Marco General.

En el presente capítulo se desarrolla el Sistema de Gestión Ambiental SGA aplicado al manejo de los materiales minero-metalúrgicos seleccionados como potenciales generadores de drenaje ácido

En el capítulo anterior se identificaron y se caracterizaron todos los materiales en base a parámetros que los definen en su calidad de generación de drenaje ácido. Estas caracterizaciones han permitido agrupar tipos de materiales, aquellos con un DAR positivo y aquellos no generadores de drenaje ácido; los primeros constituyen los materiales seleccionados para la aplicación del sistema de gestión ambiental en el marco de las mejoras continuas

En el capítulo IV se planteo el modelo de SGA que se aplicará y que se resume en el Cuadro N 6-01

En base a la información procesada sobre los materiales caracterizados en su DAR (aspectos ambientales) es posible iniciar la aplicación del SGA. Como primer punto y requisito N° 1 se tiene la definición de las políticas ambientales; los SGA que toman como modelo las mejoras continuas, se recomienda que la empresa asuma los siguientes postulados:

Postulado dirigido a operar minimizando la contaminación ambiental

Postulado de operar en el marco de la legislación ambiental

Postulado referido a la prevención de la contaminación

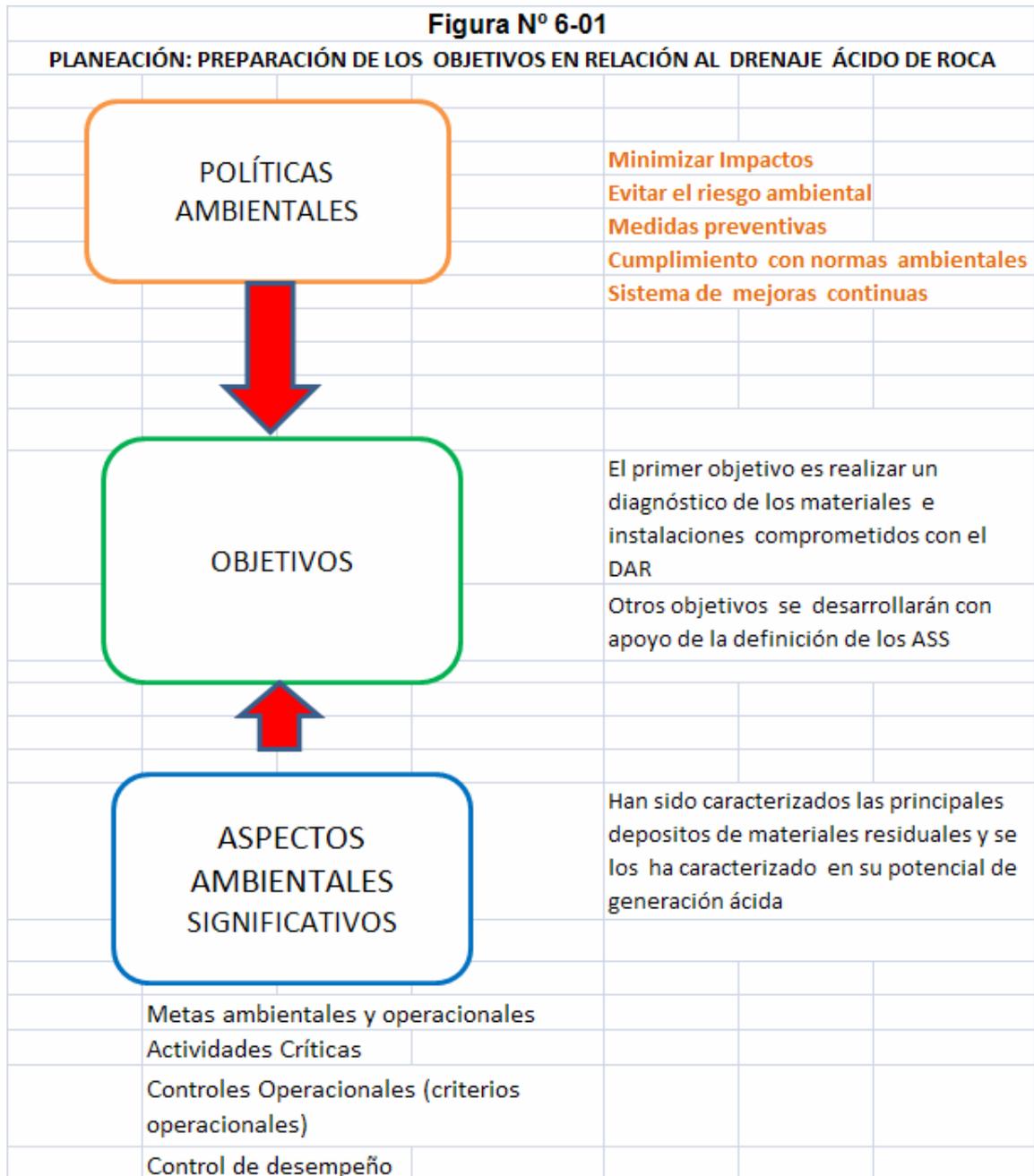
Postulado dirigido a emplear un SGA que tenga el mecanismo de las mejoras continuas

Aun no se precisa algún postulado sobre el control del DAR.

Para poder plantear los Objetivos es necesario desarrollar los aspectos ambientales significativos (AAS), tal como se muestra en el esquema de la Figura N° 6-01

Dentro de los objetivos se definen como una de las acciones es desarrollar un diagnóstico situacional de todos los materiales residuales y actividades actuales que estén comprometidos con el DAR

CUADRO Nº 6-01			
ETAPAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL SGA			
	ETAPAS	REQUISITOS	N
SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	POLÍTICAS AMBIENTALES		1
	PLANIFICACIÓN	IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES	2
		NORMAS AMBIENTALES	3
		OBJETIVOS Y METAS	4
		PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	5
	IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN	ORGANIZACIÓN	6
		CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO	7
		COMUNICACIONES	8
		PREPARACION DE DOCUMENTOS	9
		CONTROL DE DOCUMENTOS	10
		OPERACIONES Y CARACTERÍSTICAS CLAVE	11
		PREPARACION Y RESPUESTAS DE EMERGENCIAS	12
	VERIFICACIÓN Y ACCIONES CORRECTIVAS	MONITOREO Y MEDICIONES	13
		NO CONFORMIDAD, ACCIÓN CORRECTIVA, ACCIÓN PREVENTIVA	14
		REGISTROS	15
		SISTEMA DE AUDITORÍA	16
	REVISIÓN POR LA DIRECCIÓN		17



En el Marco de la Planificación del SGA se definirán los Aspectos Ambientales más Significativos de la Unidad minera relacionados a los materiales con potencial generación ácida

6.2 Identificación de los Aspectos Ambientales más significativo

6.2.1 Aspectos ambientales identificados

La caracterización de los diferentes materiales en sus valores de PNN, PA, PN, etc. han permitido identificarlos y agruparlos en grupos que guardan características similares; de esta manera se tiene seleccionados los siguientes grupos quienes serán evaluados para definir los más importantes y como definir los AAS

6.2.1.1 Materiales a evaluación

- MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos, superficiales y cerca al cuerpo mineralizado
- MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos, superficiales y alejado al cuerpo mineralizado
- MATERIALES MINEROS PARA OBRAS INFRAESTRUCTURA normalmente obtenidos de zona calcárea
- BOTADEROS. Materiales mineros desde marginales a estériles zona calcárea y cerca al yacimiento
- DIQUE DE DEPOSITOS DE RELAVES de zona calcárea, tanto alejado como cerca del cuerpo mineralizado
- SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE Ubicado en zona de intrusivo
- SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE Ubicado en zona calcárea
- DIQUES DE DEPOSITOS FORMADO POR ARENAS pertenecen a material de la zona mineralógica pudiendo ser tanto de zona calcárea como intrusivo
- DEPOSITOS DE RELAVES pertenecen a material de la zona mineralógica pudiendo ser tanto de zona calcárea como intrusivo

- Contenidos de menas sulfurados no beneficiable, las que pueden encontrarse en zona del intrusivo como en zona calcárea
- En base a la identificación de los AAS se seleccionará los de mayor puntuación se continuara con ellos la aplicación del SGA

6.2.1.2 Mediciones de los AAS

Para contar con los aspectos ambientales caracterizables en su mayor posibilidad de generación ácida, se aplicará un modelo donde se aplica los siguientes grandes caracterizaciones, éstos son.

- Caracterizarlos en su capacidad de desarrollar drenaje ácido
- Caracterizarlos en su capacidad de riesgo ambiental
- Caracterizarlos como la importancia como impacto ambiental

6.3 Capacidad de desarrollo del drenaje ácido.

Constituye el primer paso utilizado para definir si los materiales seleccionados constituyen un Aspecto Ambiental significativo. Este punto comprende los siguientes pasos:

1. Selección de los criterios de evaluación indicando sus ponderaciones entre ellos.
2. Definición de los rangos de evaluación
3. Evaluación de los diferentes grupos de materiales seleccionados

Ver Cuadro N° 6.2

6.3.1 Criterios de evaluación

Se ha seleccionado los siguientes criterios que están estrechamente relacionados con la formación del drenaje ácido

- **Potencial Neto de Neutralización: PNN**
Proyectado para cada grupo identificado, este criterio es uno de los más importantes para la caracterización del potencial de generación ácida. Mientras la diferencia entre el PN y PA sea mayor y negativa, mayor será la capacidad de generación ácida
- **PN/PA**
Esta relación mide las veces de capacidad sea de acidificación o neutralización existente en un material; si la relación es mucho mas pequeña de uno entonces es mas fuerte la posibilidad de generación ácida
- **Qr : Cantidad de reactante**
Mide cuanto material es capaz de entrar en reacción y se le calcula par la suma de las cantidades de PA y de PN, Si este valor es grande, entonces estamos ante un material de alta capacidad de reaccionar

Estos tres criterios miden directamente el potencial de DAR, Para su valoración se asume el promedio geométrico y entre el grupo de criterios tiene una ponderación de 6

- **Exposiciones al aire**
Esta referida a su el subtrato esta relacionada directamente a fuentes de oxígeno. Este criterio tiene ponderación de 2
- **Presencia de agua: Precipitación o acuífero sobre el material minero**
Indica si existe fuentes de agua disponibles sea llevando e oxígeno o retirando productos de reacción, como son los cationes metálicos. Tiene una ponderación de 1.5
- **Presencia de material soluble %**

Indica si el material es fácil de disolverse y además prácticamente ya inició el proceso DAR. Tiene ponderación de 1

- Cantidad de material
Esta referida a cuanto material está en juego. Si el depósito es muy grande o pequeño. Tiene una ponderación de dos
- Área específica de reacción
Esta referida básicamente al tamaño de grano, que entre mas pequeño permitirá una mejor exposición al medio ambiente y tendrá una mayor capacidad de reacción .
- Efectos de cinética: Esta referido a factores de cinética, como temperatura, agitación y presencia de actividad bacteriana
- Permanencia
Está relacionada si el substrato quedará ubicado en un determinado lugar de manera permanente o temporal
- Acceso de tecnologías de remediación
Si el cuerpo en evaluación, para su tratamiento es complejo o simple
Peligrosa, difícil de operar, sencilla, practicable

6.3.2 Rangos para la evaluación

En el cuadro N^o 6-02 se tiene los rangos utilizados para cada criterio seleccionado. El rango de valoración va de 8 para la calificación alta y cero para la calificación más baja débil o nula

Cuadro Nº 6-02 Rangos de valoración para diferentes criterios relacionados al desarrollo del DAR						
	Rangos de valoración	8	4	2	1	0
1	Potencial Neto de neutralización	< -800	< -200	< -40	1	POSITIVO
2	PN/PA	<0.25	<0.5	<0.8	1	>1
3	Qr : Cantidad de reactante	>1000	>600	>200	>10	0
4	Exposiciones al aire	Superficie aireada	Exposición directa y capas porosas	Exposición indirecta y capas no profundas	capa semi impermeable o capas semiendurecidas	Impermeable Roca no fracturado capas de arcillas
5	Presencia de agua Precipitación o acuifero sobre el material minero	> 1500 mm/año	>750 mm/a	>350mm/a	< de 50mm	nula
6	Presencia de material soluble %	100 a 70%	70 a 40	40 a 10	10 a 0	0
7	Cantidad de material	> 1MM	>100M	>10M	>1000	nada
8	Area especifica de reacción	Arena porosa	Particulado granular	Roca > 4"	Roca >40"	Roca impermeab
9	Efectos de cinética: Temperat, Actividad Bact, elementos Catalizadores, Agitación	No menor de 3 factores	2 factores	1 factor	Ningún Factor	Ningún Factor
10	Permanencia	Definitivo	< de 25 años	< de un año	< de 1 mes	< de 1 día
11	Acceso de tecnologías de remediación No existente, complejo, Peligrosa difícil de operar, sencilla , practicable	No menor de 3 factores	2 factores	1 factor	Ningún Factor	Ningún Factor

6.3.3 Evaluación de los diferentes materiales seleccionados

El Cuadro Nº 6.3 es un arreglo donde cada material seleccionado es valorizado en los diferentes criterios seleccionados para medir la capacidad de DAR del material

Cuadro Nº 6 03 Determinaciones de la capacidad de desarrollo del DAR para varias muestras evaluadas												
	Sustrato a ser evaluado	Ponderación	Materiales de exploraciones Intrusivo y cerca yacimt	Valoración	Materiales de exploraciones Intrusivo y alejad yacimt	Valoración	Mat minero Infraestruct calcarea	Valoración	BOTADERO Marginales calcarea cerca yac	Valoración	DIQUE DEPOSIT RELAVES CALCAREA	Valoración
1	Potencial Neto de		-235	4	-22	1.5	445	0	525	0	644	0
2	PN/PA		0.29	7	0.84	1.8	19	0	4.96	0.1	5.82	0.1
3	Qr : Cantidad de reactante		380	3	136.7	1.7	578	4.5	809	6	817	6
	Valores promedios geométricos	6	84.00	4.38	4.59	1.66189748	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00
4	Exposiciones al aire	2	Exposic directa	5	Exposic directa	5	Exposición indirecta	4	Exposición indirecta	4.5	Exposición indirecta	4
5	Presencia de agua Precip	1.5	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5
6	Presencia de material soluble %	1	14.5	1.5	14.5	1.5	9.16	1.3	2.44	1	5.45	1.3
7	Cantidad de material	3	<100M	3.5	<100M	3.5	<100M	3.5	<500M	4.5	<500M	4.5
8	Area especifica de reacción	1	Particulado a roca	3	Particulado a roca	3	Particulado a roca	3	Particulado a roca	3	Particulado a roca	3
9	Efectos de cinetica: Temperat, Actividad Bact, Catalizado, Agitación	1	1.5 factores	3	1.5 factores	3	1.5 factores	3	1.5 factores	3	1.5 factores	3
10	Permanencia	1	Permanete pero con cambios	6	Permanente pero con cambios	6	permanente	7	permanent e	7	permanent e	8
11	Acceso de tecnologías de remediación, No existente, complejo, Peligrosa difícil de operar	1	2 factores	4	2 factores	4	1.5 Factor	3	1.5 Factor	3	2.5 Factor	5
	Resultados finales	17.50	71.03	4.06	54.72	3.13	42.55	2.43	46.25	2.64	48.55	2.77

Continua.... Cuadro Nº 6.3

	Sustrato a ser evaluado	Ponderación	SUPERFICIE GALERIA INTRUSIVO	Valoración	SUPERFICIE GALERIA Calcareo	Valoración	Dique deposito arenas yacimiento	Valoración	Deposito relaves yacimiento	Valoración	Yacimiento polimetálico PA <700 PN < 400	Valoración
1	Potencial Neto de neutralización		-165	3.5	95.4	0.1	-452	6	-117	3.5	-300	5
2	PN/PA		0.442	5	1.39	0.2	0.355	6	0.97	1.2	0.6	3.5
3	Qr : Cantidad de reactante		395	3.8	739	5.5	861	6.5	746	6	1100	7
	Valores promedios geométricos	6	66.5	4.05	0.11	0.48	234	6.16	25.20	2.93	122.5	4.97
4	Exposiciones al aire	2	Capa impermeable	1.5	Capa impermeable	1.5	Arena porosa	3	Arena Fina Compactada	2	Meterial de mina	3
5	Presencia de agua Precip	1.5	Acuífero cerca	5	Acuífero cerca	5	>850	3	Semiemper 450 mm	2.5	>850	4.5
6	Presencia de material soluble %	1	23.8	2.5	0.27	0.5	0.82	0.85	0.65	0.65	1	1
7	Cantidad de material	3	<100M	2	<100M	2	<200M	3	<1MM	6	<30MM	8
8	Area especifica de reacción	1	Roca	1.3	Roca	1.3	Arena gruesa	2	Arena Fina compact	4	Materiales diversos	4
9	Efectos de cinetica: Temperat, Actividad Bact, Catalizado, Agitación	1	1.5 factores	3	1.5 factores	3	2 factores	2	1.5 factores	3	diversos	3.5
10	Permanencia	1	permanente y oculto	3	permanente y oculto	3	permanente	7	permanente	7	permanente y oculto	3
11	Acceso de tecnologías de remediación, No existente, complejo, Peligrosa difícil de operar	1	1.4 factor	6.2	1.4 factor	6.2	1.5 factores	3.5	1.5 factores	3.5	mayormente existen	4
	Resultados finales	17.50	56.81	3.25	33.37	1.91	71.82	4.10	61.49	3.51	82.05	4.69

6.4 Principales resultados

En la última fila de los cuadros de evaluación se muestra los resultados de cada material evaluado. De esta manera los materiales de interior mina de la zona de intrusivo mineralizada tiene los valores mas altos con el valor de 4.69. Le sigue en nivel de alta capacidad de generar drenaje ácido los materiales que conforman el dique. Asimismo, tiene valores altos las zonas de antiguas exploraciones ubicadas cerca al área militar.

6.5 Evaluación de los materiales según su riesgo ambiental

Esta evaluación comprende los siguientes puntos:

- Definición de los criterios de evaluación
- Definición de los rangos y niveles de ponderación y
- Evaluación del riesgo ambiental de los diferentes substratos a evaluarse.

6.5.1 Definición de los criterios de evaluación

El Riesgo ambiental queda definido por las siguientes situaciones: La existencia del elemento contaminante, el que debe medirse en su capacidad de actuar; un segundo punto esta relacionado al cuerpo receptor, el que recibe la carga contaminante y el tercer punto son los medio de transporte o como se comunican los dos anteriores. Es importante señalar que la ausencia d cualquiera de ellos hace que el mecanismo no funcione y el riesgo tiende a cero

Potencial DAR

- Potencial Neto de neutralización
- Relación PN/PA
- Exposiciones al aire

- Cantidad de material TM
- Permanencia/Duración
- Mineral soluble
- Mineral polivalente

Cuerpo receptor Humano biológico y ambiental

- Receptor Humano
- Receptor ambiental Agua, Agua suelo, agua suelo biológico
- Receptor biológico

Transporte, por agua, aire o por movilización del cuerpo receptor

- Presencia de agua Precipitación/escorrentías
- Presencia del acuífero
- Movilidad del cuerpo receptor

6.5.2 Definición de los rangos y niveles de ponderación

En el Cuadro N° 6-04 se muestra los diferentes rangos a aplicarse a cada uno de los criterios seleccionados

6.5.3 Evaluación del riesgo ambiental para los diferentes materiales seleccionados

El Cuadro N° 6-05 muestra la evaluación de los diferentes materiales para determinar los niveles de riesgo ambiental, el cuadro adelanta valores si bien importantes con respecto al potencial DAR, sin embargo, en lo que respecta al cuerpo receptor estos son bajos por la no existencia de poblaciones aguas abajo que podrían estar involucradas

Cuadro Nº 6-04 Establecimientos de rangos para Potencial DAR, Cuerpo receptor y medio de transporte							
Potencial del elemento contaminante							
	Valoración de 8 a 0	Ponderación	8	4	2	1	0
1	Potencial Neto de Neutralización	2	> -1000	> -200	> -40	1	Positivo
2	Relación PN/PA	2	<0.25	<0.5	<0.8	1	>1
3	Exposiciones al aire	1	Superficie aireada	Exposición directa y capas porosas	Exposición indirecta y capas no profundas	capa semi impermeable o capas sem endurecidas	Impermeable Roca no fracturado capas de arcillas
4	Cantidad de material TM	1	> 1MM	>100M	>10M	>1000	< 5
5	Permanencia/Duración	1	Definitivo	< de 25 años	< de un año	< de 1 mes	< de 1 día
6	Mineral soluble	1	100 a 70%	70 a 40	40 a 10	10 a 2	0
7	Mineral polivalentes	1	Cationes peligrosos	1 cation peligroso	cationes comunes	baja concentrac de cationes comunes	Cationes comunes por deb LMP
Total participacion potencial DAR		9	8	4	2	1	0
Cuerpo receptor Humano biologico y ambiental							
8	Receptor Humano	3	Pueblo en el Entorno	>40 cerca < 500m	<20 alej,>500m	Pasan temporalmente	inexistentes
9	Receptor ambiental Agua, Agua suelo, agua suelo biolog	2	No menor de 3 factores	3 factores	2 factor	1 factor	Ningun Factor
10	Receptor biológico	1	Especies vulnerables	Afectación de flora y fauna	Afectación de fauna	Afectación de flora	sin afectación
Total participacion cuerpo receptor		6	8	4	2	1	0
Transporte, por agua, aire o por movilización del cuerpo receptor							
11	Presencia de agua Precip/escorrentias	1	> 1500 mm/año	>750 mm/a	>350mm/a	< de 50mm o nula	
12	Presencia del acuífero	1	acuífero con cambio del nivel freát	Acuífero	Acuífero temporal	No acuífero	
13	Movilidad del cuerpo receptor	1	Personas y animales continuamente	Personas y animales ocasionalmente	Animales continuamente	Animales rara vez	
Total participación transporte		3	8	4	2	1	0
Valoración final		18	144	72	36	18	0

Los resultados dan mejores valores para los materiales del dique, para la zona de exploraciones antiguas en áreas de la zona militar y la de superficies de galerías en intrusivo

Cuadro Nº 6-05 Evaluación de los materiales seleccionados en su riesgo ambiental												
	Sustrato minero residual a evaluarse	Ponderación	Materiales de exploraciones Intrusivo y cerca yacimt	Valoración	Materiales de exploraciones Intrusivo y alejad yacimt	Valoración	Mat minero Infraestruct z calcarea	Valoración	BOTADER OS Marginales calcarea	Valoración	DIQUE DEPOSIT RELAVES CALCAREA	Valoración
Potencial del elemento contaminante												
1	Potencial Neto de neutralización	2	-235	4	-22	1.5	445	0	525	0	644	0
2	Relación PN/PA	2	0.29	7	0.84	1.8	19	0	4.96	0.1	5.82	0.1
3	Exposiciones al aire	1	Exposic directa	5	Exposic directa	5	Exposición indirecta	4	Exposición indirecta	4.5	Exposición indirecta	4
4	Cantidad de material	1	<100M	3.5	<100M	3.5	<100M	3.5	<500M	4.5	<500M	4.5
5	Permanencia	1	Permanete pero con cambios	6	Permanente pero con cambios	6	permanente	7	permanente	7	permanente	8
6	Mineral soluble	1	14.5	1.5	14.5	1.5	9.16	1.3	2.44	1	5.45	1.3
7	Mineral polivalentes	1	1 cation peligroso	4	1 cation peligroso	4	1 cation peligroso	5	1 cation peligroso	5	cationes peligrosos	6.5
	Promedio Geometrico		2940	4.94	283.5	3.09	0	0.00	0	0	0	0.00
Cuerpo receptor Humano biologico y ambiental												
6	Receptor Humano	3	Pasan temporalmente	0.8	Pasan temporalmente	0.8	inexistentes	0.2	inexistentes	0.2	Pasan temporalmente	1.4
7	Receptor ambiental Agua, Agua suelo, agua suelo biolog	2	2 factor	4	2 factor	4	Ningun Factor	0.2	Ningun Factor	0.2	1 factor	1.8
8	Receptor biologico	1	Afectación de flora	2	Afectación de flora	2	sin afectación	0.2	sin afectación	0.2	Afectación de flora	1.5
	Sumatoria de cualidades	6	12.40	2.1	12.40	2.1	1.20	0.2	1.2	0.2	9.30	1.6
Transporte, por agua, aire o por movilización del cuerpo receptor												
9	Presencia de agua Precip/escorrentias	2	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5	>850	4.5
10	Presencia del acuífero	1	No acuífero	1.2	No acuífero	1.2	Acuífero temporal	2.2	Acuífero temporal	2.2	No acuífero	1.2
13	Movilidad del cuerpo receptor	1	Personas y animales ocasionalmente	3	Personas y animales ocasionalmente	3	Animales rara vez	0.7	Animales rara vez	0.7	Personas y animales ocasionalmente	4.2
	Sumatoria de cualidades	4	13.2	3.3	13.20	3.3	11.90	3.0	11.9	2.975	14.40	3.6
	Valoración final	18	33.69	3.23	21.10	2.76	0.00	0.00	0	0	0.00	0.00

Continua..... Cuadro 6 05

	Sustrato minero residual a evaluarse	Ponderación	SUPERFICIE GALERIA INTRUSIVO	Valoración	SUPERFICIE GALERIA Calcareo	Valoración	Dique deposito arenas yacimiento	Valoración	Deposito relaves yacimiento	Valoración	Yacimiento polimetálico o PA <700 PN < 400	Valoración
Potencial del elemento contaminante												
1	Potencial Neto de neutralización	2	-165	3.5	95.4	0.1	-452	6	-117	3.5	-300	5
2	Relación PN/PA	2	0.442	5	1.39	0.2	0.355	6	0.97	1.2	0.6	3.5
3	Exposiciones al aire	1	Capa impermeable	1.5	Capa impermeable	1.5	Arena porosa	5	Arena Fina Compactada	2	Material de mina	3
4	Cantidad de material	1	< 100M	2	< 100M	2	<200M	3	<1MM	6	< 30MM	8
5	Permanencia	1	permanente y oculto	3	permanente y oculto	3	permanente	7	permanente	7	permanente y oculto	3
6	Mineral soluble	1	23.8	2.5	0.27	0.5	0.82	0.85	0.65	0.65	1	1
7	Mineral polivalentes	1	cationes peligrosos	5	1 cation peligroso	4	1 cation peligroso	6	1 cation peligroso	4	1 cation peligroso	4
	Promedio Geometrico		157.5	2.75	0.18	0.71	3780	5.19	352.8	3.23	1260	4.17
Cuerpo receptor Humano biologico y												
6	Receptor Humano	3	Pasan temporalmente	1.10	Pasan temporalmente	1.1	Pasan temporalmente	1.1	Pasan temporalmente	0.8	No pasan	0
7	Receptor ambiental Agua, Agua suelo, agua suelo biolog	2	1 factor	1.60	1 factor	1.8	1 factor	1.8	1 factor	1.8	0 factor	0
8	Receptor biologico	1	Afectación de flora	1.50	Afectación de flora	0.8	sin afectación	0.2	Afectación de flora	1	sin afectación	0.1
	Sumatoria de cualidades	6	8	1.33	7.70	1.3	7.10	1.2	7.00	1.2	0.10	0.0
Transporte, por agua, aire o por												
9	Presencia de agua Precip/escorrentias	2	Acuifero cerca	5	Acuifero cerca	5	>850	4.5	Siempre 450 mm	2.5	>850	4.5
10	Presencia del acuifero	1	Acuifero	4	Acuifero temporal	2.5	Acuifero temporal	2.5	Acuifero	5	Acuifero	3.5
13	Movilidad del cuerpo receptor	1	Personas y animales ocasionalmente	3.8	Personas y animales ocasionalmente	4	Personas y animales ocasionalm	4	Personas y animales ocasionalm	4	Animales rara vez	0.7
	Sumatoria de cualidades	4	17.8	4.45	16.50	4.1	15.50	3.9	14.00	3.5	13.20	3.3
	Valoración final	18	16.32	2.54	3.76	1.55	23.82	2.88	13.20	2.36	0.23	0.61

6.6 Evaluación de los materiales en su importancia como impacto ambiental

Este punto comprende el siguiente ítem:

- Identificación de los criterios utilizados
- Establecimiento de las condiciones de rangos
- Evaluación de los diferentes materiales.

6.6.1 Identificación de los criterios utilizados

Para definir la importancia del impacto se ha considerado los siguientes criterios:

- Normatividad, Control LMP
- Reversible
- Relación causa/efecto
- Impacto al paisaje
- Compromisos con el entorno
- Compromisos con el SGA

Normatividad

Está referida a si el parámetro está sujeto a control ambiental y limitada por límites máximos permisibles dados por la autoridad competente, tanto como efluentes líquidos (Ministerio de Energía y Minas) como para calidad de agua en el cuerpo. (Ministerio de Agricultura). Su valoración relativa es de 1.5 en relación a los otros parámetros y tendrá la máxima valoración si el material bordea los límites exigidos por la normatividad y mínimos si están alejados.

Reversibilidad

Indica si una vez sucedido el impacto, existe capacidad de reversibilidad o de alcanzar nuevamente las condiciones iniciales

Relación Causa-Efecto. (C/E)

Este criterio está referido al efecto directo del drenaje ácido sobre el medio ambiente, especialmente afectando la calidad del agua, como tal a poblaciones, animales y plantas. Este parámetro también es de suma importancia; su valoración relativa es de 1.5 y de la misma manera los valores máximos estarán referidos al daño que pueda ocasionar a las personas y mínimos si no existe medio afectado directamente.

Sujeto a compromisos de la Empresa o de la comunidad.

Este criterio representa los compromisos que la Empresa se ha impuesto controlar dentro de sus actividades de política ambiental o por otro lado relacionado a la presión de la comunidad, en el marco del control ambiental. Su valoración relativa es de uno y dentro del mismo parámetro se puntuación alcanza el máximo valor si existen exigencia tanto por la empresa como por la comunidad.

Compromisos con el SGA

Si los impactos que devienen del DAR ya existen compromisos con el SGA: es decir ya está considerado en sus políticas, en sus objetivos y se cuenta con un plan dinámico de manejo ambiental

6.6.2 Establecimientos de los rangos

En el Cuadro N° 6-06 se muestra los rangos establecidos para evaluar a los materiales seleccionados en el tema de importancia del Impacto. El valor máximo toma valores similares a 8 y el mínimo valores de 1 o cero

	Rangos de valoración	8	4	2	1	0
1	Normatividad, Control LMP	Por lo menos 4 normas	Por lo menos 3 normas	Por lo menos 2 normas	Por lo menos 1 norma	Sin normas
2	Reversible	Muy Alto	alto	medio	bajo	nada
3	Relación causa/efecto	Muy directo	directo	medio directo	bajo directo	nada
4	Impacto al paisaje	muy alto	alto	medio	bajo	nada
5	Compromisos con el entorno	por lo menos en 4	por lo menos en 3	por lo menos en 2	por lo menos en 1	nada
6	Compromisos con el SGA	Muy directo	directo	medio directo	bajo directo	nada

6.6.3 Evaluación de los diferentes substratos

En el Cuadro N° 6 -07 se tiene las evaluaciones para los diferentes substratos en su nivel de importancia. Los valores que destacan son los obtenidos para depósitos de relaves, el yacimiento en su zona de intrusivo, zona de exploraciones intrusivo cerca del yacimiento.

Con estas tres valoraciones se conjuga con el fin de determinar el material que requiere mayor atención, es decir nos encontraríamos antes un Aspecto Ambiental Significativo

Cuadro N° 6-07 Evaluación de los diferentes materiales en el tema de Importancia														
	Sustrato a ser evaluado	Ponderación	Materiales de exploraciones Intrusivo y cerca yacim	Valoración	Materiales de exploraciones Intrusivo y alejad yacim	Valoración	Mat minero Infraestruct z calcarea	Valoración	BOTADEROS Marginales calcarea cerca yac	Valoración	DIQUE DEPOSIT RELAVES CALCAREA	Valoración	SUPERFICIE GALERIA INTRUSIVO	Valoración
1	Normatividad, Control LMP	2	< de 4 normas	6	< de 3 normas	4	< de 2 norma	3	Limitadas	3	Limitadas	3	< de 3 normas	4
2	Reversible	1	Parcial	3	Parcial	3	medio	4	medio	4	medio	4	medio	4
3	Relacion causa/efecto	1	medio alto	5	aceptable	3	medio bajo	3	bajo	1	medio bajo	3	alto	6
	Impacto al paisaje	1	alto	6	Alto	5	medio bajo	3	medio alto	5	medio bajo	2	bajo	1
4	Compromisos con el entorno	2	medio alto	4	medio	4	medio bajo	2	medio bajo	2	medio bajo	3	medio alto	5
5	Compromisos con el SGA	2	medio bajo	3	medio bajo	3	bajo	1	bajo	1	medio bajo	2	medio alto	5
	Valoración Importancia	9.00	40.00	4.44	33.00	3.67	22.00	2.44	22.00	2.44	25.00	2.78	39.00	4.33

Continua Cuadro N° 6-07

	Sustrato a ser evaluado	Ponderación	SUPERFICIE GALERIA Calcareo	Valoración	Dique deposito arenas yacimiento	Valoración	Deposito relaves yacimiento	Valoración	Yacimiento polimetálico PA <700 PN < 400	Valoración
1	Normatividad, Control LMP	2	< de 2 norma	2	< de 4 norma	3	< de 4 norma	6	< de 2 normas	4
2	Reversible	1	medio	4	Parcial	3	Poca	2	Parcial	5
3	Relacion causa/efecto	1	bajo	2	medio alto	2	medio alto	5	medio alto	5
	Impacto al paisaje	1	bajo	1	medio bajo	1	alto	6	medio	4
4	Compromisos con el entorno	2	bajo	2	medio alto	2	medio alto	5	medio alto	5
5	Compromisos con el SGA	2	bajo	1	medio alto	2	alto	6	medio alto	5
	Valoración Importancia	9.00	17.00	1.89	20.00	2.22	47.00	5.22	42.00	4.67

6.7 Evaluación final para determinar los AAS (Cuadro N° 6-08)

- MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos, superficiales y cerca al cuerpo mineralizado: Está constituidas por las muestras 25, 4, 26, 27 y 6 En sus tres evaluaciones alcanza valores similar a 4 y corresponde a una calificación media, sin embargo, este representa el Impacto Ambiental mas significativo
- MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos, superficiales y alejado al cuerpo mineralizado, está constituida por las muestras 3, 5, 30, 28,y 29 se encuentra en el lugar 6 como AAS . Tiene valores relativamente bajos en los temas de importancia del impacto y potencial de desarrollo del DAR, por los valores bajos en su PNN, no olvidar que las muestras representan materiales con bajos valores tanto de PN y PA
- MATERIALES MINEROS PARA OBRAS INFRAESTRUCTURA normalmente obtenidos de zona calcárea. Su valoración es baja, especialmente porque este material no representa un riesgo ambiental, porque no son generadores de ácido
- BOTADEROS. Materiales mineros desde marginales a estériles Zona calcárea y cerca al yacimiento. Su valoración es baja, especialmente porque estos materiales no representan un riesgo ambiental, porque no son generadores de ácido
- DIQUE DE DEPOSITOS DE RELAVES de zona calcárea, tanto alejado como cerca del cuerpo mineralizado. Este grupo tiene

una evaluación baja pues por tener un PNN positivo constituye como un material no generador de ácido

- SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE
Ubicadas en zona de intrusivo, constituidas por las muestras 35 y 31, Tiene una valoración media baja y constituye el 5to AAS, sus menores evaluación es por ser de bajo riesgo ambiental.
- SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE
Ubicado en zona calcárea; Estos materiales tienen bajas evaluaciones porque no son generadores de ácido y no representan ningún riesgo ambiental
- DIQUES DE DEPOSITOS FORMADOS POR ARENAS
pertenecen a material de la zona de yacimiento pudiendo ser tanto de zona calcárea como intrusivo. La clasificación de los relaves para las partículas más pesadas permite concentrar a estos en materiales sulfurosos, de ahí su mejor valor como potencial de desarrollo del DAR y valor medio bajo como de riesgo ambiental porque se trata de un material ya cubierto, es decir ya se practicó su cierre de instalación. Sin embargo, es considerado como el Tercer AAS

Cuadro N° 6-08 Evaluación de los diferentes substratos para determinar su nivel de AAS

Lineas de evaluación	Ponderación	Mat de explorac Intrusivo y cerca yacimt	Valoración	Mat de explorac Intrusivo y alejad yacimt	Valoración	Mat minero Infraestruct z calcárea	Valoración	BOTADEROS Marginales calcarea	Valoración	DIQUE DEPOSIT RELAVES	Valoración
		Grupo1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4		Grupo 5	
Valoración Riesgo ambiental	2		3.23		2.76		0.00		0.00		0.00
Val Desarrollo del DAR	3		4.06		3.13		2.43		2.64		2.77
Valoración Importancia	1	40	4.44	33.00	3.67	22.00	2.44	22.00	2.44	25.00	2.78
Determinación del Aspecto Ambiental Significativo	6	25, 4, 26, 27, 6	3.85	3, 5, 30, 28, 29	3.10	19, 18,7	1.62	2, 1, 21, 22	1.73	9, 8,10	1.85
Orden del Aspecto AMBIENTAL			1		6						

Continúa Cuadro N° 6 - 08

Lineas de evaluación	Ponderación	SUPERFICIE GALERIA INTRUSIVO	Valoración	SUPERFICIE GALERIA Calcarea	Valoración	Dique deposito arenas	Valoración	Deposito relaves yacimento	Valoración	Yacimiento polimetalico PA <700	Valoración
		Grupo 6		Grupo 7		Grupo8		Grupo 9		Grupo 10	
Valoración Riesgo ambiental	2		2.54		1.55		2.88		2.36		0.61
Val Desarrollo del DAR	3		3.25		1.91		4.10		3.51		4.69
Valoración Importancia	1		4.33		1.89		2.22		5.22		4.67
Determinación del Aspecto Ambiental Significativo	6	35, 31	3.19	33, 36, 32	1.79	23, 12	3.38	20, 14, 13,11	3.41		3.33
Orden del Aspecto AMBIENTAL			5				3		2		4

- DEPOSITOS DE RELAVES pertenecen a material de la zona mineralógica pudiendo ser tanto de zona calcárea como intrusivo. Estos materiales constituyen el segundo AAS con una valoración media, especialmente por su importancia como impacto, ya que se trata de depósito grande que va a permanecer definitivamente en el lugar.
- Contenidos de menas sulfuradas no beneficiables, las que pueden encontrarse en zona del intrusivo como en zona calcárea. Estos materiales tienen valores importantes como Potencial de desarrollo del DAR y de importancia del impacto, pero tienen valores bajos en riesgo ambiental, pues como es natural son materiales internos donde no está presente el cuerpo receptor.

6.7.1 Resultados

Los aspectos ambientales más significativos en orden de importancia son los siguientes:

AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo (no excluye en zona calcárea) y cerca al yacimiento

Son materiales, superficiales y cerca al cuerpo mineralizado: Están constituidos por las muestras 25, 4, 26, 27 y 6. Estas áreas se encuentran expuestas directamente al medio ambiente como consecuencia del desalojo del material superficial; producto de esta operación se presentan dos casos como medios disturbados: la nueva superficie expuesta y el material desbrozado que es abandonado en las cercanías del lugar o al pie del área descubierta. Estas zonas representan áreas entre 1000 a 5000 M² y pueden ubicarse entre 10 a 15. Son materiales que en algunos casos aun contienen importantes

concentraciones de material soluble y pueden generar soluciones con cationes sin que necesariamente aun no haya desarrollo el DAR

AAS2 Depósito de relaves (incluye el dique depósito si éste está formado por relaves gruesos)

Las cantidades almacenadas son del orden de los 8 millones de toneladas y que representan los depósitos de más de 15 años. Esta característica la da una alta valoración para el criterio de magnitud, temporabilidad alta e irreversibilidad. Es de intensidad mediana Su granulometría fina, a pesar de que favorece una gran área superficial de reacción, sin embargo, la forma de su disposición lo hacen poco reactivo y aun mas si sobre ellos se fomenta una capa de agua. Los depósitos de relaves están conformados por los finos después del cicloneado, su evaluación respecto al DAR es relativamente bajo, su relación PN/PA es cercana a 1 y su PNN es de -116 Kg CO₃Ca/TM de mineral, bajo con valores de Intensidad no es mayor de 4. El grado de molienda es aproximadamente 60 % pasando malla 200. Por las características macroscópicas, existe baja presencia de piritas y en general los relaves en su mayor parte están cubiertos por agua. De acuerdo a su diseño este depósito va a quedar insitu de por vida y posiblemente para su correspondiente Plan de Cierre se tendrá que decidir por un sistema de depósito bajo agua o por cubiertas superficiales.

La contaminación más cercana puede ocurrir a las aguas del río Lloclla que hace de receptor, sea ésta a través de las aguas de drenaje de la presa o por las aguas subterráneas.

Los efluentes superficiales están controlados en su calidad y es responsabilidad de la Empresa su continuo control; asimismo, guarda vivo interés en controlar la calidad de las aguas en el marco de las exigencias de la comunidad y como políticas de la Empresa.

En este aspecto ASS2 También se considera el dique que está

conformado por arenas gruesas de los relaves de la separación por cicloneado. La presencia de pirita es notable; una parte menor del dique está expuesta al medio ambiente ya que es una instalación de cierre. De estos materiales se estima cantidades del orden de los 100,000 TM

AAS3: Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico PA >700 PN < 400.

Por lo general se encuentran cerca del yacimiento y de preferencia en zona de intrusivo

Estos materiales tiene valores importantes como potencial de desarrollo del DAR y de importancia del impacto, pero tienen valores bajos en riesgo ambiental, pues como es natural, son materiales internos donde no está presente el cuerpo receptor.

El conocimiento de su ubicación es muy importante para el minero, porque puede desarrollar la explotación minera tratando de minimizar que estos materiales salgan a superficie o alertar al metalurgista que se trata de un material de alto riesgo, con el fin de disponer los relaves en zonas más seguras, es decir alejadas del aire.

Estos materiales tienen un alto potencial DAR en el criterio de intensidad dado especialmente por sus valores altos de PA y bajos valores de PN, si éstos se encuentran en zona de intrusivos. Los valores de extensión son también importantes y los factores de importancia por la empresa, porque su explotación recae en beneficios económicos

AAS4 Superficies libres en galerías de zona intrusiva y cerca del yacimiento.

Estas áreas son las causantes directas de la formación de aguas ácidas.

Ubicadas en zona de intrusivo, constituidas por las muestras 35 y 31, Estas áreas si encuentran las condiciones necesarias como oxígeno y agua entonces se desarrolla el DAR y constituyen las aguas de mina

Existen alrededor de 10 galerías abandonadas, pero sólo tres de ellas muestran la presencia de aguas ácidas en volúmenes que varían de 10 a 50 litros/minuto.

Este Aspecto tiene importancia especial porque ya es un DAR y requiere programas de mitigación para su control

6.8 Definición de Objetivos

Con la definición de los AAS, el sistema de gestión ambiental, recomienda hacer el seguimiento de los AAS que sean operativamente manejables, que den resultados en breve tiempo y que cumplan en su mayor parte con los Objetivos inicialmente programados por la empresa.

Para la definición de los objetivos se aplica la Matriz de combinación de los AAS seleccionados con los postulados de las políticas ambientales. De la matriz de manera directa se selecciona cual de las combinaciones podrían cumplirse mejor con el SGA; de esta manera se establece los objetivos. A continuación se describe los objetivos para el control del DAR:

6.8.1 AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

- Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración cuyo PNN arrojó valores que indican el desarrollo del DAR
- Aplicar el cierre de instalaciones en zonas de exploración, con el fin de evitar el desarrollo del DAR
- Aplicar el SGA para lograr controlar este AAS

Cuadro N° 6 - 09 Matriz de selección de los objetivos del SGA para el manejo del DAR					
AAS	Descripción del Aspecto	Minimización	Prevención	Legislación	Mej continuas
AAS1	Materiales de exploración en zona de Intrusivo (no excluye en zona calcárea) y cerca al yacimiento	Se requiere de actuación inmediata		Aplicable entre otros pasivos ambientales	Se propone por ser el AAS1
AAS2	Depósito relaves (incluye el dique del depósito formada por relaves gruesos)		Requiere actividades de prevención	Normatividad variada sobre estabilidad de presas de relaves	Se propone por ser el AAS2
AAS3	Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico PA <700 PN < 400.	Minimizar extracción de material peligroso	Reune condiciones para aplicar actividades de prevención		
AAS4	Superficies libres en galerías de zona intrusiva y cerca del yacimiento. Aguas ácidas de mina	Se requiere de actuación inmediata		Normatividad variada sobre aguas ácidas	

6.8.2 AAS2 Depósito de relaves

Para este AAS se cuenta con los siguientes objetivos:

- Disponer de controles preventivos para evitar el desarrollo del DAR
- Cumplir con la legislación ambiental en el tema de estabilidad química del depósito
- Aplicar el SGA a este AAS

6.8.3 AAS3. Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico

Para este AAS se cuenta con los siguientes objetivos:

- Evaluar el yacimiento en su PNN y realizar acciones para minimizar la extracción de aquellos que den PNN altamente negativos
- Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

6.8.4 AAS4 Aguas ácidas de mina

- Tratamiento inmediato de las aguas de mina
- Cumplir con la legislación sobre el tratamiento de las aguas ácidas.

6.9 Metas para el cumplimiento de objetivos

6.9.1 AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

6.9.1.1 Objetivo 1 Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración cuyo PNN arroja valores que indican el desarrollo del DAR

Metas

- Realizar un estudio de las diferentes zonas y mapear aquellas cuyo DAR es más evidente
- Disponer aquellos materiales con PNN altamente negativo en un lugar seguro libre de aire y agua
- Realizar obras hidráulicas con el fin de minimizar el contacto de las aguas con los materiales o zonas de PNN altamente negativas

Actividad Crítica

Que en algunos sectores aun no muy evaluados de inicie el desarrollo del DAR

Controles Operacionales

- Contabilizar los diferentes tipos de materiales y/o áreas, en sus características de PA, PN, pH en pasta, % de sulfuro oxidado,
- Control de pH y conductividad de las aguas cercanas a las zonas investigadas

- Contar con las medidas de las cantidades de los diferentes materiales, granulometrías, humedad y presencia de agua en el entorno
- Determinación de S como sulfuro para evaluar el PA
- Determinaciones de la cantidad de álcalis para definir su PN
- Cálculo del PNN, la relación Pa PN y Qr
- Determinar su granulometría identificando tamaños mayores, tamaños medias y % de finos
- Llevar el control de los diferentes materiales caracterizados, clasificados según su potencial de desarrollo de DAR y posible destino
- Si PNN lo determina como material ligeramente peligroso realizar un examen mineralógico.
- Disponer de los planos topográficos a escala adecuada, ubicando los diferentes sitios evaluados
- Evaluación de infiltraciones
- Presencia de aire (oxígeno) cerca al yacimiento
- Si PNN lo determina como material ligeramente peligroso realizar un examen mineralógico.
- Realizar controles de escorrentías midiendo los flujos especialmente aquellos que no ingresan a la zona de los materiales con potencial de generación DAR
- Determinaciones si existe migración de agua por el subsuelo. Debe realizarse el balance hídrico de todo el sistema del botadero
- Estimar lluvias promedio, proyectadas y formación de escorrentías

Controles de desempeño

- Contar con el 85% del material correctamente identificado en su capacidad de desarrollo del DAR

- Contar con la totalidad del material de alto potencial DAR dispuesto en un relleno encapsulado
- Lograr que todas las aguas que escurren debajo de la zona investigada sean aguas limpias, de pH neutros y libres de cationes metálicos. Cumpliendo de esta manera con la legislación ambiental tanto como efluente como posible cuerpo receptor

6.9.1.2 Aplicar el cierre de instalaciones en zonas de exploración, con el fin de evitar el desarrollo del DAR

Metas

- Realizar un estudio de las diferentes zonas sea en su potencial de generación ácida y evaluar la conveniencia de un cierre
- Evaluar los diseños de cierre a aplicarse a los materiales o sitios que requieren de un cierre
- Establecer los controles necesarios que garanticen que el cierre esta cumpliendo su cometido

Actividad Crítica

- Cierre de instalaciones en zonas agrestes, por las dificultades de la colocación de las diferentes capas
- Presencia del DAR en zonas aun no muy bien evaluadas

Controles Operacionales

- Contar con un inventario de los lugares y materiales a los que se le aplicará el Plan de cierre.
- Establecer los tipos y cantidades de los materiales a requerirse para el plan de cierre
- Tomar mediciones de S como sulfuro para determinar su PA, asimismo, la cantidad de carbonatos para determinar su PN y evaluar a los materiales en el parámetro PNN y PN/PA

- Realizar determinaciones del nivel del acuífero y su calidad
- Tener información histórica y actual de las precipitaciones en la zona
- Establecer áreas de ingreso prohibido para aquellas zonas donde sólo debe ingresar el personal autorizado.
- Establecer los parámetros de control, tales como calidad y características de los materiales, espesores y compactación de las capas utilizadas, controles de los flujos de las aguas de escorrentías controladas en la zona, etc.

Controles de desempeño

Cumplir con el plan de planeamiento y cronogramas por lo menos en un 85 %

6.9.1.3 Aplicar el SGA para lograr controlar este AAS

Metas

- Desarrollar el Programa de manejo ambiental en base a los objetivos y metas planteadas para este AAS
- Implementar el PMA asegurando el cumplimiento de todos los requisitos, como el de capacitación especialmente en el camino crítico, los sistemas de control operacionales, documentando adecuadamente las informaciones de control y especialmente aquellas que deben validarse
- Desarrollar la etapa de control y supervisión, realizando monitoreos de acuerdo a lo propuesto en la etapa de planeamiento, contar con supervisión ambiental y auditorías internas y externas, identificar las no conformidades y el levantamiento de ellas, etc
- Etapa de informe de la gestión ambiental a la alta autoridad, a quien corresponde evaluar todo el PMA , la gestión del SGA y

finalmente ampliar o modificar las políticas ambientales, como tal sus objetivos y nuevas metas.

Actividad Crítica

Determinar en un cronograma de actividades, la ruta crítica del PMA

Controles de desempeño

Evaluar el avance del PMA según cronogramas previamente establecidos.

6.9.2 AAS2 Depósito de relaves

6.9.2.1 Objetivo 1 Disponer de controles preventivos para evitar el desarrollo del DAR

Metas

- Determinaciones de S como sulfuro para evaluar el PA
- Determinaciones de la cantidad de álcalis para definir su PN
- Cálculo del PNN, la relación Pa PN y Qr
- Definir el grado de peligrosidad
- Determinación de las cantidades a depositarse.
- Determinación de la granulometría del material
- Determinación de las cantidades de arenas gruesas y su destino final
- Caracterizar la calidad del agua como posible efluente
- Determinación de las cantidades de agua para conformar el espejo de agua
- Determinación si existe migración de agua por el subsuelo. Debe realizarse el balance hídrico de todo el sistema del deposito de relaves

- Determinación de la calidad de agua del cuerpo receptor, tanto antes, como después de la intercepción del efluente con el río.

Actividad Crítica

- No contar con la suficiente agua para formar el espejo de agua
- Presencia del DAR, en algunos sectores del depósito de relaves
- Controles Operacionales
- Medición del pH del agua que acompaña a los relaves
- Muestrear periódicamente los relaves para hacer los análisis correspondientes para las evaluaciones del PA y PN.
- Mediación periódica de la altura del espejo de agua
- Inspección diaria del entorno de la presa de relaves, verificando posibilidades de infiltraciones o presencia de aguas ácidas.
- Control periódico y quincenal de los piezómetros , midiendo niveles del acuífero y calidad del agua
- Control de la calidad del efluente de la presa de relaves

Controles de desempeño

- Mantener la altura del espejo de agua en los niveles correspondientes en un porcentaje del 90.
- Contar con el 100% de las posibilidades el pH por encima de 7.5

6.9.2.2 Objetivo 2 Cumplir con la legislación ambiental en el tema de estabilidad química del depósito

Metas

Contar con los dispositivos normativos relacionados al manejo de la presa de relaves y normas relacionados con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad de agua

Controles de desempeño

Aprobar en no menos de un 90% las auditorías sostenidas por las fiscalizaciones realizadas por el ente de regulación ambiental

6.9.2.3 Objetivo 3 Aplicar el SGA a este AAS

Metas

- Desarrollar el Programa de manejo ambiental en base a los objetivos y metas planteadas para este AAS
- Implementar el PMA asegurando el cumplimiento de todos los requisitos, como el de capacitación especialmente en el camino crítico, los sistemas de control operacionales, documentando adecuadamente las informaciones de control y especialmente aquellas que deben validarse
- Desarrollar la etapa de control y supervisión, realizando monitoreos de acuerdo a lo propuesto en la etapa de planeamiento, contar con supervisión ambiental y auditorías internas y externas, identificar las no conformidades y el levantamiento de ellas, etc
- Etapa de informe de la gestión ambiental a la alta autoridad, a quien corresponde evaluar todo el PMA, la gestión del SGA y finalmente ampliar o modificar las políticas ambientales, como tal sus objetivos y nuevas metas,

Actividad Crítica

Determinar en un cronograma de actividades la ruta crítica del PMA

Controles de desempeño

Evaluar el avance del PMA según cronogramas previamente establecidos.

6.9.3 AAS3: Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico

6.9.3.1 OBJETIVO.1 Evaluar el yacimiento en su PNN y realizar acciones para minimizar la extracción de aquellos que den PNN altamente negativos

Metas

- Estimar el Potencial de reservas del Yacimiento
- Proyecciones del material a extraerse sea para beneficio o para desarrollo del yacimiento
- Contenidos de S como sulfuro que corresponde a los proyecciones de las materiales a no beneficiarse
- Contenidos de álcalis expresados en carbonato por TM de mineral
- Evaluación de infiltraciones
- Evaluar la presencia de aire (oxígeno) cerca al yacimiento

Actividad Crítica

- Extraer mucho mayor material que quedara como residual y que tiene un potencial de DAR, es responsabilidad de la Unidad de geología determinar que materiales no son necesariamente extraíbles
- No tomar en consideración el desarrollo del yacimiento minero, exponiéndolos a infiltraciones no controladas y con acceso fácil de aire.

Controles Operacionales

- Realizar las correspondientes tomas de muestras y analizar por azufre como sulfuro para el cálculo del PA, así como por álcalis para la determinación del PN
- Medir caudales de infiltración
- Medir calidad de las aguas de infiltración, de manera diaria para los parámetros de conductividad y pH y para periodos mensuales o trimestrales una corrida con ICP para metales totales y metales disueltos.

Controles de desempeño

- Verificar el cumplimiento de minimizar la extracción de materiales calificados como no deseables extraerlos. Por su alto nivel de peligrosidad en el exterior.

6.9.3.2 Objetivo 2 Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

Metas

- Realizar los estudios geológicos del yacimiento identificando aquellos de contenidos de PNN altamente negativos y que no son beneficiables.
- Realizar los correspondientes estudios hidrogeológicos, verificando si el posible acuífero está en contacto con el yacimiento mineral, especialmente de las zonas más peligrosas.
- Contar con los estudios geotécnicos en miras a determinar fallas fracturas, posibles deslizamientos, microfracturas, etc. con el fin de determinar posibles vías tanto para el ingreso de los reactantes (aire y agua, como salida de productos como cationes metálicos y aguas ácidas
- Durante la explotación minera chequear periódicamente el tipo de material que está saliendo de mina y verificar su

destino final, avisando oportunamente al receptor de estos materiales el tipo de material que se entrega.

Actividad Crítica

Presencia del desarrollo del DAR, en situaciones complejas de control, como es el caso de que por microfracturas está ingresando agua y aire a zonas altas de mineralización sulfurada.

Controles Operacionales

- Realizar las correspondientes tomas de muestras y analizar por azufre como sulfuro para el cálculo del PA así como por álcalis para la determinación del PN
- Medir caudales de infiltración
- Medir calidad de las aguas de infiltración, de manera diaria para los parámetros de conductividad y pH y para periodos mensuales o trimestrales una corrida con ICP para metales totales y metales disueltos
- Realizar pruebas de caracterización mecánica de la roca

Controles de desempeño

- Verificar el cumplimiento de más del 85% de las medidas de prevención se estén cumpliendo

6.9.4 AAS4 Aguas ácidas de mina

6.9.4.1 Objetivo 1 Tratamiento inmediato de las aguas de mina

Metas

- Identificar las aguas de mina en su carácter de aguas ácidas
- Localización de focos activos del DAR

- Estudiar las características químicas del cuerpo receptor
- Conocer las características químicas del efluente
- Minimizar los flujos de agua de mina
- Minimizar la formación del DAR, proponiendo acciones para evitar el desarrollo del DAR en sus centros de origen
- Características químicas del cuerpo receptor después de la descarga del efluente
- Seleccionar las aguas calificadas como contaminantes para su posterior tratamiento
- Contar con aguas de mina como efluente en calidad de acuerdo a los estándares y LMP establecidos

Actividad Crítica

- Desarrollo incontrolado de procesos férrico bacterianos
- Presencia de un determinado catión en concentraciones mayores que los señalados por la normatividad ambiental o que afecten seriamente la calidad de las aguas de los cuerpos receptores.

Controles Operacionales

- Flujos diarios , Promedios mensuales, promedios anuales
- pH del agua
- Potencial redox
- Concentraciones de Fierro Total y Fe³⁺
- Cationes metálicos no deseables tanto como solubles como totales

Controles de desempeño

- Cumplir con el programa de minimizar los flujos de aguas ácidas
- Cumplir con entregar al cuerpo receptor aguas de acuerdo a como señalan las normas ambientales

6.9.4.2 Objetivo 2 Cumplir con la legislación sobre el tratamiento de las aguas ácidas

Metas

Contar con los dispositivos normativos relacionados al manejo de la presa de relaves y normas relacionados con los límites máximos permisibles y los estándares de calidad de agua.

Controles de desempeño

Aprobar en no menos de un 90% las auditorías sostenidas por las fiscalizaciones realizadas por el ente de regulación ambiental.

CAPITULO VII

PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL, IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE ACCIONES CORRECTIVAS

7.1 Plan de Gestión Ambiental PGA

El presente PGA es la consecuencia de un conjunto de acciones dirigidas a resolver el problema del drenaje ácido que pueda desarrollarse en las instalaciones mineras. Por otro lado, el PGA representa el último requisito de la etapa de Planeamiento y recoge todas las actividades planeadas para el control del posible desarrollo del DAR

El PGA contiene la declaración de la Política Ambiental, la Identificación de los AAS, los objetivos, las metas a alcanzar, la identificación de los caminos críticos, el requerimiento de los controles operacionales y las evaluaciones de la gestión de desempeño.

7.1.1 Política ambiental

Postulado dirigido a operar minimizando la contaminación ambiental

Postulado referido a la prevención de la contaminación

Postulado de operar en el marco de la legislación ambiental

Postulado dirigida a emplear un SGA que tenga el mecanismo de las mejoras continuas

7.1.2 Aspectos Ambientales Significativos AAS

AAS1: Materiales de exploración en zona de Intrusivo (no excluye en zona calcárea) y cerca al yacimiento

AAS2: Depósito de relaves (incluye el dique depósito si ésta está formado por relaves gruesos)

AAS3: Materiales que pueden provenir del yacimiento polimetálico PA <700, PN < 400.

AAS4: Superficies libres en galerías de zona intrusiva y cerca del yacimiento. Aguas ácidas de mina.

7.1.3 Objetivos

AAS1: Materiales de exploraciones en zona de intrusivo

- Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración cuyo PNN arroja valores que indican el desarrollo del DAR (Tipo de tratamiento: control primario y secundario)
- Aplicar el cierre de instalaciones en zonas de exploración, con el fin de evitar el desarrollo del DAR (control primario)
- Aplicar el SGA para lograr controlar este AAS

AAS2 : Depósito de relaves

Para este AAS se cuenta con los siguientes objetivos

- *Disponer de controles preventivos para evitar el desarrollo del DAR*
- *Cumplir con la legislación ambiental en el tema de estabilidad química del depósito*
- *Aplicar el SGA a este AAS*

AAS3: Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico

Para este AAS se cuenta con los siguientes objetivos

- Evaluar el yacimiento en su PNN y realizar acciones para minimizar la extracción de aquellos que den PNN altamente negativos
- Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

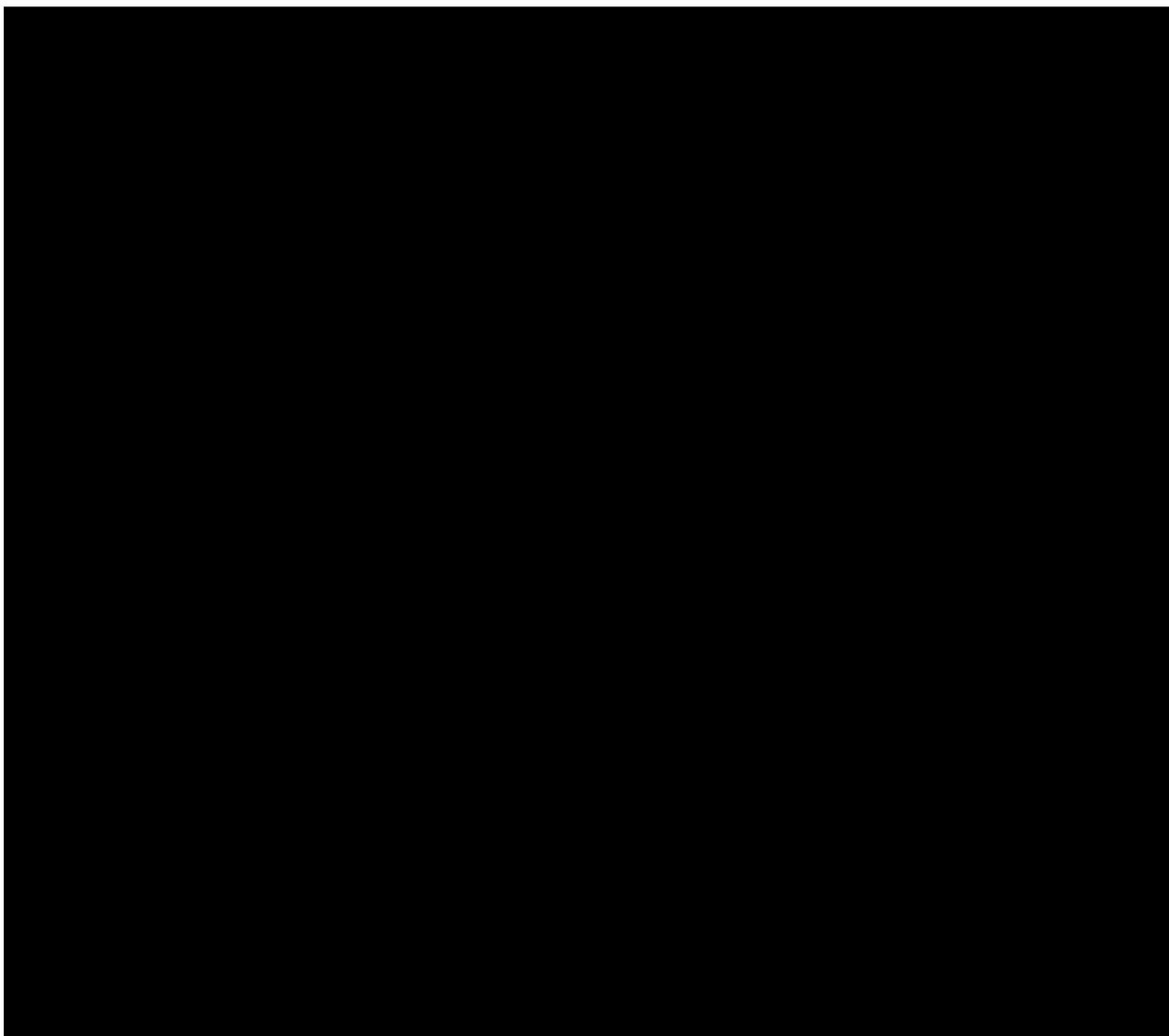
AAS4 Aguas ácidas de mina

- Tratamiento inmediato de las aguas de mina (control terciario)
- Cumplir con la legislación sobre el tratamiento de las aguas ácidas.

7.1.4 Metas

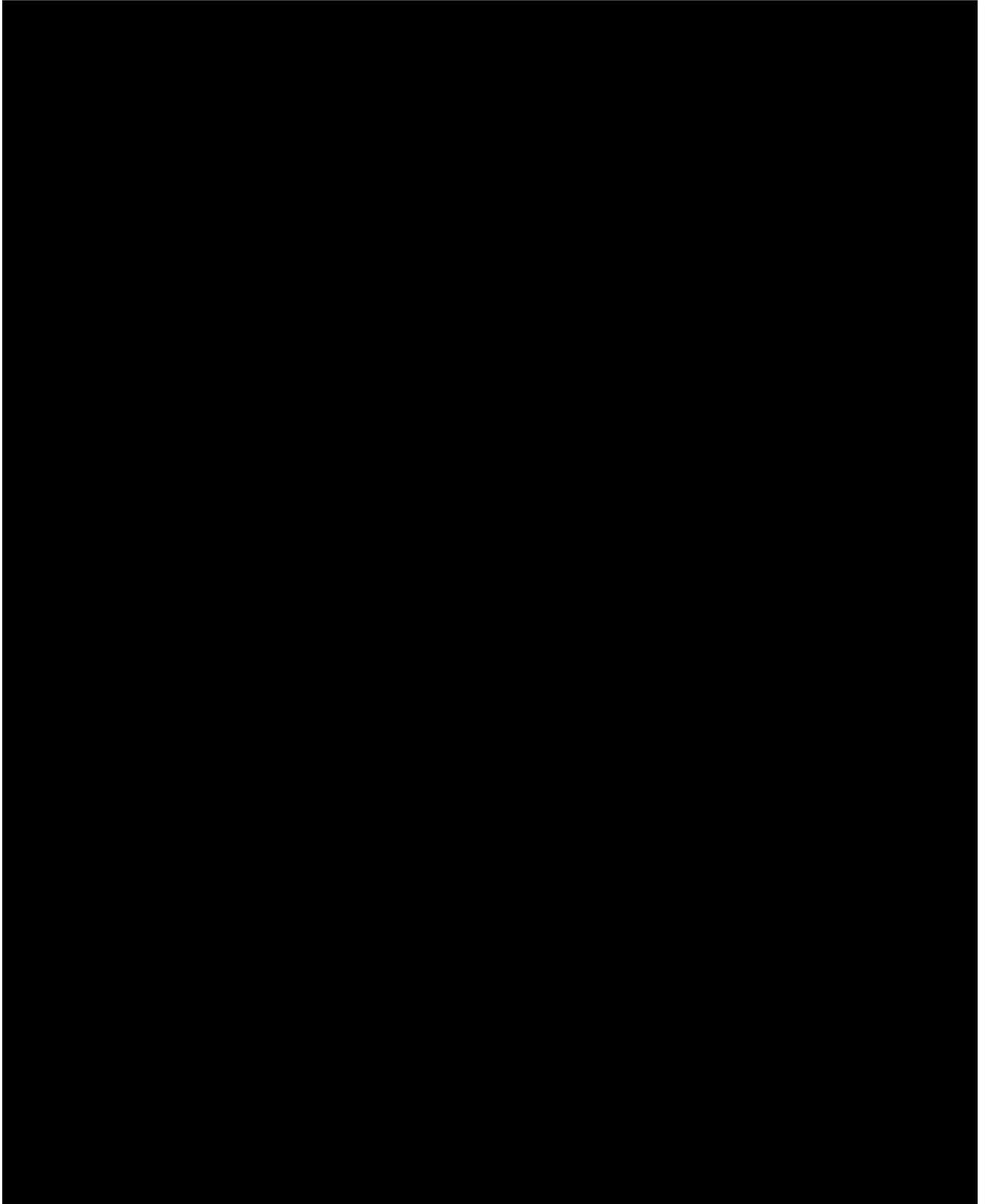
En el Cuadro N° 7-1 se tiene desarrollado las metas para cada uno de los objetivos planteados

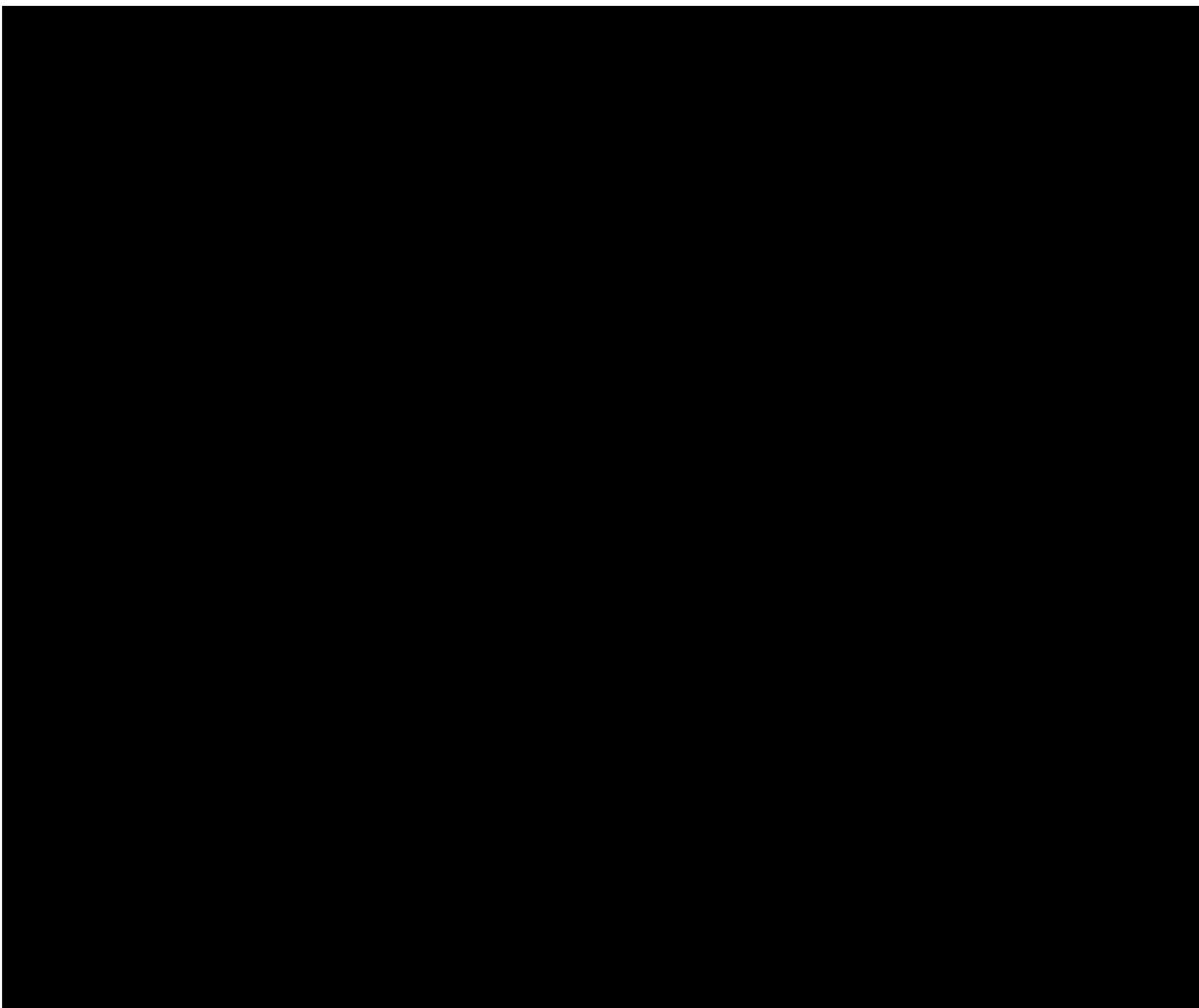




7.1.5 Actividades Críticas, Controles Operacionales y Controles de Desempeño

En el Cuadro N° 7-02 se muestran las Actividades Críticas, Controles Operacionales y Controles de Desempeño, según objetivos para cada uno de los Aspectos Ambientales Significativos





7.2 Implementación del Programa de Gestión Ambiental aplicado al DAR según el SGA

Corresponde a la tercera etapa del desarrollo del SGA, para tal efecto ya se determinaron los AAS, se plantearon sus objetivos y metas. Como resultado final del Planeamiento se desarrolló el PGA.

Ahora corresponde a la empresa decidir si la implementación debe ser aplicable en forma completa a los 4 AAS identificados, para tal efecto deberá medir los recursos, organización, y tiempos para atender a los diferentes AAS y lograr el cumplimiento del PGA

7.3 Organización

El ente superior a quien corresponde el desarrollo del PGA dentro del SGA es la Gerencia General o el Gerente de Operaciones.

El ente técnico recae en la Gerencia de Medio Ambiente, quien organiza sus diferentes líneas de acción según las políticas ambientales y objetivos planteados y encargada de la Implementación del PGA. Ver Figura N° 7 01

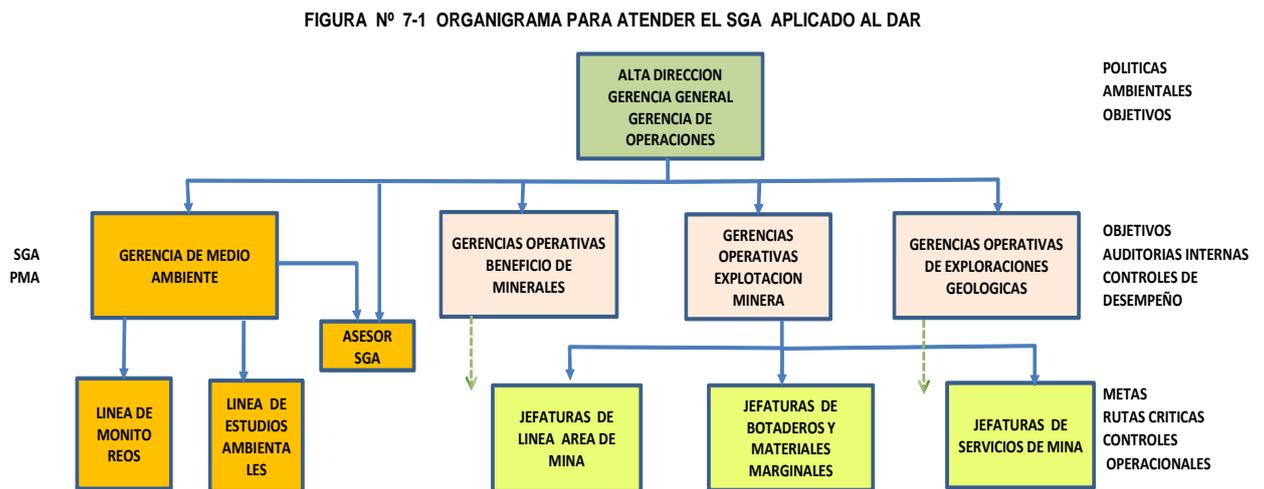
Entre las diferentes líneas, la gerencia de Medio Ambiente tiene la línea de seguimiento del SGA aplicada al DAR, en los temas de cumplimiento de metas. Para tal efecto, nombrará un asesor especialista en el sistema de gestión ambiental

Cada unidad operativa es responsable de evaluar las actividades críticas señaladas en el PGA y de cumplir todos los controles operacionales: corresponde al Asesor en SGA y a la Gerencia de Medio Ambiente evaluar los controles de desempeño, quien hará las correcciones correspondientes si fueran necesarias, e informará a la Alta Dirección sobre los resultados de la implementación del SGA aplicada al DAR

Si fuera necesario, la gerencia de Medio Ambiente y el Asesor en SGA, en coordinación con la gerencia de Operaciones, pueden nombrar, al jefe de un área operativa responsable directo de la implementación de un AAS; así por ejemplo, sobre el AAS relacionado al tipo de mineral que salen de mina, podría ser el Jefe de Mina

Otro tema dentro de la Organización son los recursos, tanto humanos como administrativos, los cuales deben ser lo suficientes para atender el desarrollo de los de los diferentes AAS

Un tercer tema dentro de la organización es la implementación del PGA en base a un cronograma, identificando la actividades (AAS), sus principales rutas, tiempos y responsabilidades.



7.4 Capacitaciones

7.4.1 Capacitación general

Aplicada a todo el personal de la empresa en temas generales tanto del SGA como del PGA y otros temas sobre la problemática ambiental

7.4.2 Capacitaciones especiales

La capacitación especial está referida a asegurar, que el personal que está directamente comprometido con el desarrollo de los AAS y han identificado las actividades críticas, tengan el mejor conocimiento y que les permita afrontar con mayor comodidad las actividades críticas. Al personal de área operativa, sobre los controles operacionales, sus registros y los controles de desempeño.

A todo el personal, sobre los diferentes requisitos del SGA, sobre la determinación de la empresa de implementar un PGA complementario al PMA en base a los AAS identificados para el control del DAR

Los eventos de capacitación deberán registrarse, donde los participantes firmarán sobre la capacitación recibida. Este evento es un registro auditable como control de desempeño

Los siguientes programas de capacitación específica deberán desarrollarse para el control del DAR

7.4.2.1 Yacimiento mineral.

- Capacitación al personal de Geología sobre la importancia de los materiales con alto valor negativo del PNN y que sacarlos al exterior, significa incrementar el potencial de DAR
- Capacitar al personal encargado de la disposición final, de los materiales que conformaran desmonteras y con alto valor negativo en su PNN, éstos lo hagan en lugares seguros , alejados de fuentes de agua u otros que aceleran su formación de DAR
- Capacitar al personal de mina que dejar material minero cerca al agua y en contacto con el aire, significa las condiciones básicas para el desarrollo del DAR

7.4.2.2 Depósitos de relaves.

- Capacitar al personal, encargado de las operaciones de almacenamiento de relaves, sobre la formación del DAR en materiales de relaveras; de esta manera saber como minimizar la formación del DAR.
- Capacitar al personal, del manejo del depósito de relaves, sobre las características de los efluentes que se pueden formar en el

depósito de relaves y saber actuar de manera inmediata cuantos estos adquieren valores de peligrosidad.

- Capacitar, en general, a todos los operarios, en los diferentes tipos de tratamiento para afrontar cualquier tipo de desarrollo del DAR

7.4.2.3 Desmonteras y botaderos

- Capacitar al personal de operaciones, encargado de las desmonteras, sobre las interpretaciones de los valores de PA, PN, PNN, pH en pasta, etc. con el fin de conocer los niveles de peligrosidad del material que conforma las desmonteras
- Capacitar al personal del manejo del depósito de desmonteras sobre las características de los efluentes que se pueden formar en los botaderos y saber actuar de manera inmediata cuantos estos adquieren valores de peligrosidad.

7.4.2.4 Aguas de minas

- Capacitar al personal de mina, encargado del manejo de las aguas de mina, sobre los procesos de lixiviación de los sulfuros y como se forman las aguas ácidas, de la misma manera, como lograr pasivar la superficie del sulfuro.
- Capacitar en los diferentes tipos de tratamiento para afrontar cualquier tipo de desarrollo del DAR
- Capacitar al personal, encargado de las aguas de minas, sobre las legislación ambiental relacionadas a la calidad de los efluentes; además, de las medidas necesarias para evitar que existan cationes sobre los límites máximos permisibles.

7.5 **Comunicaciones**

Las comunicaciones comprometidas en el manejo de PGA del SGA son de dos tipos: Internas y externas

Para la comunicación interna se emplearán los mismos medios que la empresa realiza en sus comunicaciones operacionales

Las comunicaciones internas, relacionadas al SGA, son todas aquellas que corresponden a todas las etapas del SGA, en especial el desarrollo del PGA y sus diferentes AAS. El tema diario es la toma de data operacional y su procesamiento, para conformar los reportes periódicos y que constituyen la información técnica a verificarse.

En el tema sobre las exploraciones debe comunicarse los resultados sobre las diferentes materiales caracterizados en su potencial DAR, con el fin de que otras área involucradas puedan tener la información necesaria para realizar adecuadamente sus funciones.

En el tema de la presa de relaves, la comunicación debe ser continua, sea con la planta concentradora y el área de cicloneado; ambos son responsables de tener el deposito de relaves en las condiciones planeadas, sea en pH, en granulometrías, en sus valores de PA y PN

Para el caso de la características de los materiales del yacimiento, éstos deben ser comunicados a la gerencia de Desarrollo Minero, como a la gerencia de Medio Ambiente, con el fin de asegurarse de los futuros materiales a extraerse y oportunamente se disponga de los lugares de disposición y los aseguramientos necesarios para evitar el desarrollo del DAR

Para el caso de las aguas ácidas, la comunicación permanente entre el área de mina y el responsable del tratamiento de las aguas ácidas. Un tema importante es el control del efluente quienes periódicamente deberán comunicar a la autoridad y a los representantes de las comunidades o poblaciones aguas abajo sobre los análisis químicos

de los efluentes

Las comunicaciones externas están referidas a dos tipos de interlocutores. El primero de ellos están relacionados al medio social del entorno y corresponde a la Gerencia de Medio ambiente realizar las comunicaciones que sean necesarias, especialmente de toda actividad que realiza la Empresa y que tiene interferencia con el entorno ambiental y social. La otra comunicación externa, es la relacionada con las autoridades ambientales.

Las comunicaciones oficiales deberán registrarse como documentos auditables.

7.6 Reportes y control de documentos

La documentación está referida a los diferentes documentos que se exigen en todo SGA, sin embargo, en este tópico tocaremos la data o reportes concernientes al control operacional y a control de gestión en temas relacionadas al DAR

La data deberá clasificarse en aquella cuyos resultados se basan en datos históricos, como tal, es necesario su recopilación periódica y de conformidad con procedimientos específicos para tomarla; en atención a los AAS, así por ejemplo los valores de PA y PN aplicables a los relaves, o a los materiales que conforman el yacimiento minero; las características de las aguas de una determinada bocamina, sea flujo, acidez, conductividad, STS, etc.

Data relacionado a la presa de relaves, como altura del espejo de agua, balance de agua, calidad del efluente; características del relave es su potencial de generación ácida, etc.

Existe otra data relacionada a eventos especiales o situaciones poco convencionales, por ejemplo una tendencia en la alza en la

formación de un determinado tipo de catión, la precipitación de lluvias en cantidades no esperadas y en temporadas no usuales, etc. Esta data es importante porque permite ampliar el campo de control del DAR y minimizar las contingencias.

La data de control de gestión en general es data procesada y evaluada según determinados indicadores que permitan ver resultados en el SGA; cada AAS tiene sus objetivos y cada objetivos tienen sus indicadores de desempeño; así por ejemplo:

AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

Objetivo Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración

Indicadores de desempeño

- Contar con el 85% del material correctamente identificado en su capacidad de desarrollo del DAR
- Contar con la totalidad del material de alto potencial DAR dispuesto en un relleno encapsulado
- Lograr que todas las aguas que escurren aguas abajo de la zona investigada sean aguas limpias de pH neutros y libre de cationes metálicos. Cumpliendo de esta manera con la legislación ambiental como efluente y cumplir con los ECA aplicados al cuerpo receptor

Otros indicadores de desempeño ver Cuadro 7 - 02

Toda la data deberá estar ordenada, según fechas, según áreas específicas, a que AAS y que Objetivo, etc. Es una data que debe llevar la firma y fecha del que la originó y esta firma debe ser reconocida como la autorizada; Asimismo, la data procesada deberá

indicar o acompañar la data original y debe ser firmada por el especialista que procesó la data

No olvidar que además de ser ordenada esta debe ser objetiva, clara y sujeta a ser auditable

7.7 Control de documentos

El control de documentos está referida a sustentar todos los actos en el cumplimiento de todos los requisitos del SGA y como estos asegure, por un lado, la confiabilidad del sistema y, por otro lado, la acción dinámica de su implementación, en el marco de las mejoras continuas. Para el caso específico de las actividades minero-metalúrgico caracterizadas en sus AAS, los controles de gestión a aplicarse son los siguientes;

7.7.1 Yacimiento minero

- Control documentado de las actividades dirigidas a minimizar la extracción de materiales residuales con un alto valor negativo del PNN: estas actividades se traduce en disminuir el potencial de generación ácida en el exterior.
- Control documentado de actividades dirigidas a devolver materiales con alto valor negativo en el PNN al interior mina y que estos queden estabilizados, como son los caso de relleno hidráulico utilizando arenas gruesas de relaves cicloneado o material de desmonte o marginal con ocupación de galerías , chimeneas, etc. También como una disposición estable.
- Control en el desarrollo de mina, de tal manera de minimizar las áreas libres o que estén en contacto con el aire o aguas de infiltración

7.7.2 Depósitos de relaves

- Control documentado de las mediciones de pH a condiciones de alcalinidad, de tal manera, de favorecer medios y efluentes de pH alcalinos , inhibiendo la formación del DAR
- Control documentado relacionado a la disposición de los materiales con altos valores negativos de PNN, ocupen lugares interiores, alejados del aire, de esta manera minimizar la posibilidad de generación ácida.
- Control de la calidad y cantidad de efluentes o actividades de reciclaje del agua remante.

7.7.3 Desmonteras y botaderos

- Control documentado de los materiales con altos valores negativos de PNN, ocupen lugares interiores , alejados del aire, de esta manera minimizar la posibilidad de generación ácida.
- Control documentado de las actividades relacionadas a minimizar la formación de efluentes con actividades de reciclaje del agua remante,
- Control documentado de las actividades relacionadas a minimizar el ingreso de agua de lluvia al interior de los botaderos, para este fin se llevará un control del agua que se recupera por el uso de instalaciones hidráulicas

7.7.4 Agua de mina

- Control documentado de las actividades dirigidas a minimizar los flujos de las aguas ácidas
- Control documentado de las actividades relacionadas a minimizar el grado de acidez y de carga metálica de los afluentes de mina

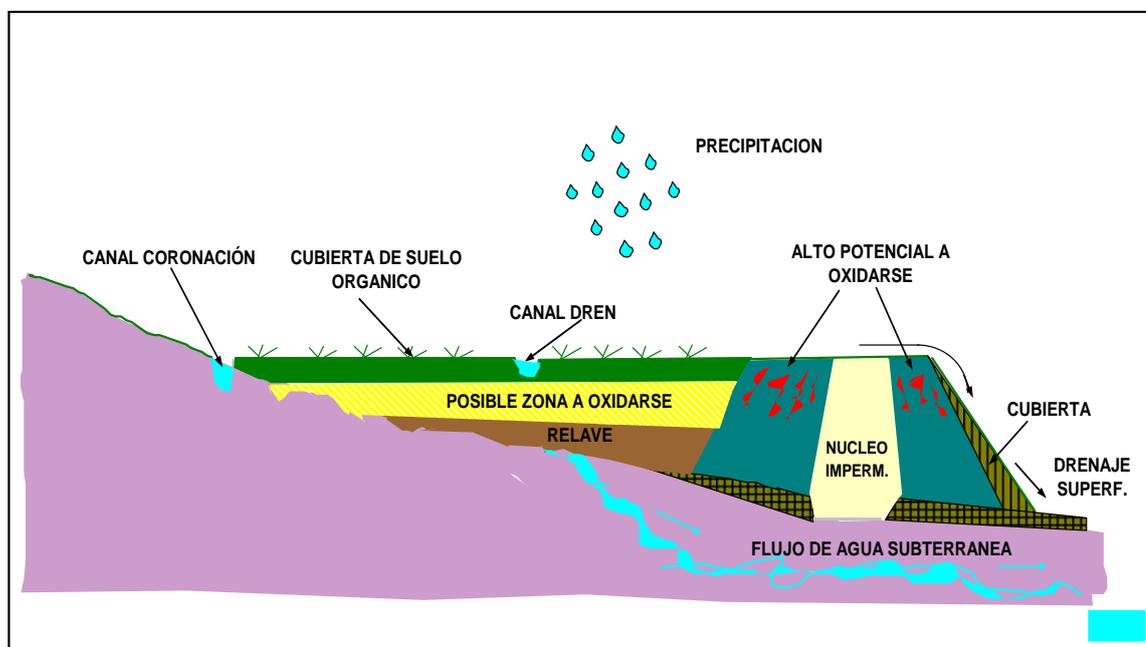
7.8 Operaciones y características claves

La atención de los diferentes AAS y sus respectivos objetivos, requiere de un conjunto de operaciones, dirigidas por un lado a prevenir el desarrollo del DAR (control primario) y por otro lado a mitigar los procesos DAR (control secundario y terciario)

En cada una de estas operaciones puede establecerse una característica clave que permita rápidamente que un hecho no previsto está por suceder

En el Cuadro N° 7-03 se tiene un arreglo de las operaciones y sus características claves aplicadas a cada objetivo de un determinado AAS. En la Figura 7.2 se muestra la aplicación de los diferentes tipos de control a un cierre de un depósito antiguo

FIGURA N° 7.2
DEPOSITOS ANTIGUOS DE RELAVES: ELEMENTOS DE CIERRE APLICANDO DIFERENTES CONTROLES



7.9 Preparación y respuestas de emergencia

Los AAS identificados mantienen características de potencialidad en el desarrollo del DAR y niveles de riesgo, como tal, cada uno de ellos contienen posibilidades de presentarse en condiciones no normales, para tal efecto será necesario contar con acciones de respuesta. A continuación se describen las más importantes:

7.9.1 AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

Objetivo

Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración cuyo PNN arroja valores que indican el desarrollo del DAR

Riesgo

Inicio del desarrollo del DAR

Respuesta de emergencia

Mitigar productos del DAR con procedimientos de control terciarios (recolección y tratamiento de los productos del DAR) y pasivar focos de desarrollo del DAR (control primario), sea pasivando las superficies de reacción o controlando las escorrentías superficiales

Objetivo

Aplicar el cierre de instalaciones en zonas de exploración, con el fin de evitar el desarrollo del DAR

Riesgo

Inicio del desarrollo del DAR

Respuesta de emergencia

Mitigar productos del DAR con procedimientos de control terciarios (recolección y tratamiento de los productos del DAR) y pasivar focos de desarrollo del DAR (control primario), sea pasivando las superficies de reacción o controlando las escorrentías superficiales

7.9.2 AAS2 Depósito de relaves

Objetivo

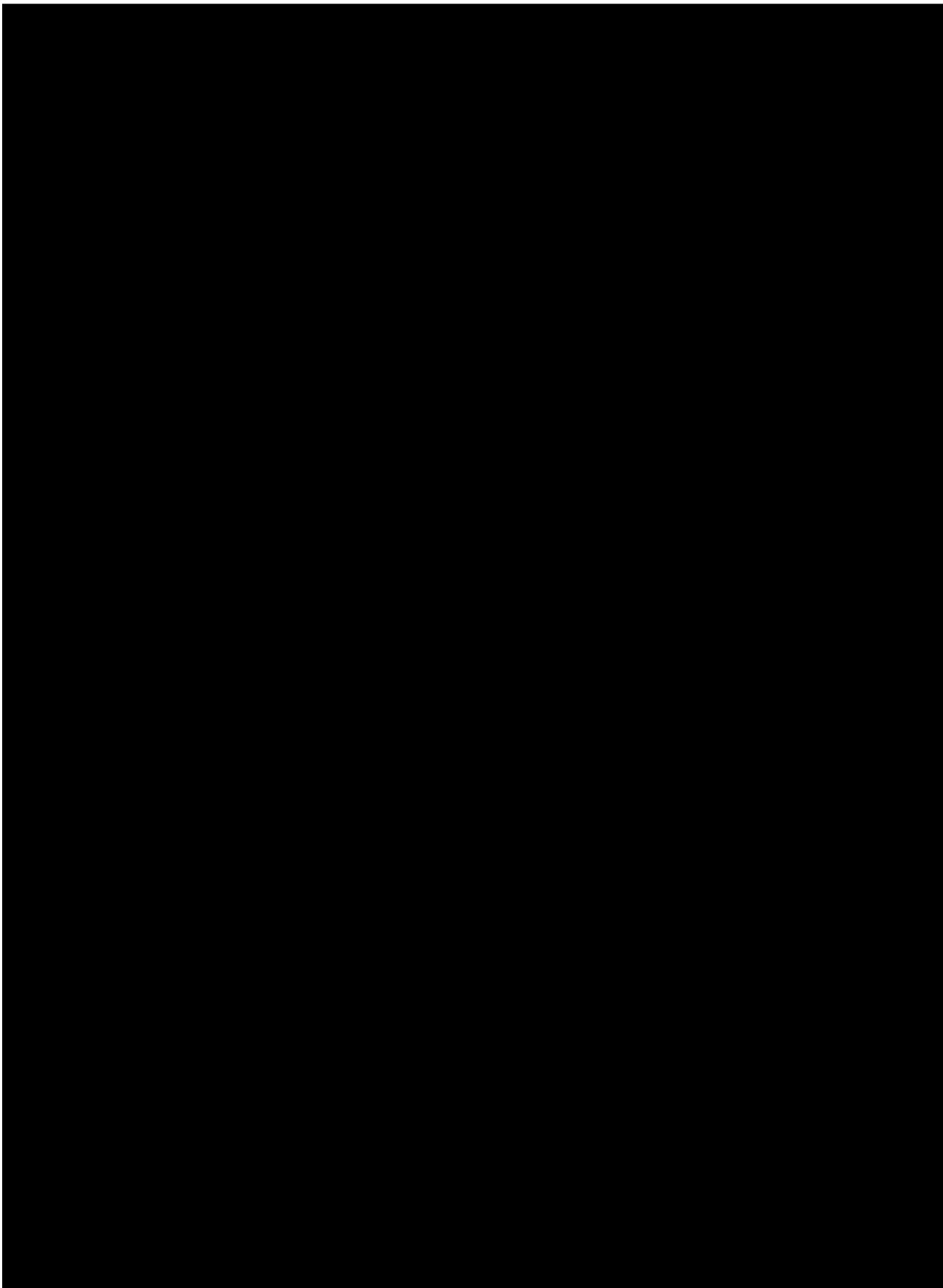
Disponer de controles preventivos para evitar el desarrollo del DAR

Riesgo

Inicio del desarrollo del DAR

Respuesta de emergencia

Mitigar productos del DAR y pasivar focos de desarrollo del DAR



7.9.3 AAS3- Materiales que pueden provenir del yacimiento polimetálico

Objetivo

Evaluar el yacimiento en su PNN y realizar acciones para minimizar la extracción de aquellos que den PNN altamente negativos

Riesgo

Extracción de materiales peligrosos y dispuestos en zonas sensibles

Respuesta de emergencia

Evaluar niveles de contaminación

Desarrollar programas de respuesta inmediata, evitando que la contaminación se propague. (Aplicaciones de controles terciarios)

Retiro de materiales peligrosos y disponerlos en lugares autorizados.

Evaluar los sitios contaminados y proponer acciones de restauración

Objetivo

Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

Riesgo

Desorden o confusión de los materiales extraídos y algunos de ellos con inicios de desarrollo del DAR

Respuesta de emergencia

Identificación de los diferentes materiales que están generando duda y desconfianza. Aplicar controles terciarios a aquellos materiales que han iniciado el proceso del DAR

7.9.4 AAS4 Aguas ácidas de mina

Objetivo

Tratamiento inmediato de las aguas de mina (control primario)

Riesgo

Aguas no controladas se dirigen al cuerpo receptor

Respuesta de emergencia

Utilizar inmediatamente procedimientos de controles terciarios y secundarios; de esta manera se debe cortar el flujo de efluentes y por otro lado hacer vigilancia de las aguas en camino, para que éstas no sean utilizadas.

Tratamiento inmediato de las aguas retenidas y recolectadas. Control Primario si fuera necesario, identificando focos contaminantes y pasivando estos focos.

CUARTA ETAPA: VERIFICACION Y ACCIONES CORRECTIVAS

7.10 Monitoreo y mediciones

Todos los AAS con sus correspondientes objetivos serán monitoreados y/o medidos. Las operaciones identificadas en los objetivos de cada AAS serán monitoreados y los controles operacionales de igual manera, medidas. Así por ejemplo:

7.10.1 AAS2 Depósito de relaves

Objetivo

Disponer de controles preventivos para evitar el desarrollo del DAR

Programas de monitoreo

- Muestrear periódicamente los relaves para hacer los análisis correspondientes para las evaluaciones del PA y PN.

- Inspección diaria del entorno de la presa de relaves, verificando posibilidades de infiltraciones o presencia de aguas ácidas.
- Control periódico y quincenal de los piezómetros, midiendo niveles del acuífero y calidad del agua

Mediciones

- Mediciones del pH del agua que acompaña a los relaves
- Muestrear periódicamente los relaves para hacer los análisis correspondientes para las evaluaciones del PA y PN.
- Periódicamente realizar pruebas de extracción de metales con la finalidad de verificar aquellos cationes metálicos que pueden traer mayores dificultades
- Mediciones periódicas de la altura del espejo de agua
- Control periódico y quincenal de los piezómetros, midiendo niveles del acuífero y calidad del agua
- Inspección diaria del entorno de la presa de relaves, verificando posibilidades de infiltraciones o presencia de aguas ácidas.

7.10.2 AAS1 *Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo*

Objetivo

Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración

Programas de monitoreo

- Programa que permita contabilizar los diferentes tipos de materiales y/o áreas, en sus características de PA, PN, pH en pasta, % de sulfuro oxidado,
- Control de pH y conductividad de las aguas cercanas a las zonas investigadas
- Programa de diagnóstico de los materiales en su potencial generación ácida

Mediciones

- Contabilizar los diferentes tipos de materiales y/o áreas, en sus características de PA, PN, pH en pasta, % de sulfuro oxidado,
- Control de pH y conductividad de las aguas cercanas a las zonas investigadas
- Contar con las medidas de las cantidades de los diferentes materiales, granulometrías, humedad y presencia de agua en el entorno
- Determinaciones de S como sulfuro para evaluar el PA
- Determinaciones de la cantidad de álcalis para definir su PN
- Cálculo del PNN, la relación PA/ PN y Qr

7.10.3 AAS4 Aguas acidas de mina

Objetivo

Tratamiento inmediato de las aguas de mina (control terciario)

Programas de monitoreo

Control de flujos y calidad de las aguas ácidas

Tratamiento de las aguas ácidas

Mediciones

- Flujos diarios, promedios mensuales, promedios anuales
- pH del agua
- Potencial redox
- Concentraciones de Hierro total y Fe³⁺
- Cationes metálicos no deseables tanto como solubles como totales

7.11 No Conformidad, Acción Correctiva, Acción Preventiva

En general las No Conformidades están referidas al incumplimiento de algunos de los requisitos del SGA.

Identificados los AAS y sus objetivos, se establecieron las metas, los controles Operativos, los controles de desempeño, las operaciones críticas, las medidas y para cada uno de ellos sus procedimientos y registros de los documentos que contiene la información que se desea registrar.

Las no conformidades se aplican:

7.11.1 Fallas en el control Operativo,

en general por incumplimiento de los procedimientos aplicarse a los controles operacionales, así por ejemplo

AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

Objetivo

Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración

Deficiencias en los siguientes Controles Operacionales

- Contabilizar los diferentes tipos de materiales y/o áreas, en sus características de PA, PN, pH en pasta, % de sulfuro oxidado,
- Control de pH y conductividad de las aguas cercanas a las zonas investigadas
- Contar con las medidas de las cantidades de los diferentes materiales, granulometrías, humedad y presencia de agua en el entorno
- Determinaciones de S como sulfuro para evaluar el PA
- Determinaciones de la cantidad de álcalis para definir su PN
- Cálculo del PNN, la relación PA/ PN y Qr

7.11.2 Fallas en el control de desempeño

De la misma manera para **los controles de desempeño** las no conformidades se dan en el incumplimiento de los índices de desempeño.

Para el mismo AAS y objetivos se tiene:

Deficiencias en los siguientes Controles de desempeño

- Contar con el 85% del material correctamente identificado en su capacidad de desarrollo del DAR
- Contar con la totalidad del material de alto potencial DAR dispuesto en un relleno encapsulado
- Lograr que todas las aguas que escurren aguas debajo de la zona investigada sean aguas limpias de pH neutros y libre de cationes metálicos. Cumpliendo de esta manera con la legislación ambiental tanto como efluente como posible cuerpo receptor

7.11.3 Fallas en las operaciones

Para el caso de **operaciones incumplidas**, las no conformidades se dan por incumplimiento de los procedimientos; como ejemplos se tiene

AAS3 Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico

Objetivo 2

Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

Operaciones

- Incumplimiento en realizar las correspondientes tomas de muestras y analizar por azufre como sulfuro para el cálculo del PA así como por álcalis para la determinación del PN
- Incumplimiento en las mediciones de la calidad de las aguas de infiltración, de manera diaria para los parámetros de conductividad y pH y para periodos mensuales o trimestrales una corrida con ICP para metales totales y metales disueltos

Incumplimiento por Medidas

Las no conformidades se dan por el incumplimiento en la toma de data o no llevar los registros correspondientes, así por ejemplo:

AAS3 Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico

Objetivo 2

Establecer procedimientos de prevención para el control de los materiales con PNN altamente negativos

Incumplimiento en las siguientes medidas a control de operaciones:

- Realizar las correspondientes tomas de muestras y analizar por azufre como sulfuro para el cálculo del PA así como por álcalis para la determinación del PN
- Medir caudales de infiltración
- Medir calidad de las aguas de infiltración, de manera diaria para los parámetros de conductividad y pH y para periodos mensuales o trimestrales una corrida con ICP para metales totales y metales disueltos
- Realizar pruebas de caracterización mecánica de la roca

7.11.4 Incumplimiento de metas

Las no conformidades se dan por el incumplimiento de metas así por ejemplo

AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo

Objetivo

Minimizar la formación de DAR en las zonas de exploración

Metas

- Incumplimiento en realizar un estudio de las diferentes zona y mapear aquellas cuyo DAR es más evidente
- Incumplimiento en disponer aquellos materiales con PNN altamente negativo en un lugar seguro libre de aire y agua
- Incumplimiento en realizar obras hidráulicas con el fin de minimizar el contacto de las aguas con los materiales o zonas de PNN altamente negativas

Objetivo

Aplicar el cierre de instalaciones en zonas de exploración

Incumplimiento de las siguientes metas

- Realizar un estudio de las diferentes zonas sea en su potencial de generación ácida y evaluar la conveniencia de un cierre
- Evaluar los diseños de cierre a aplicarse a los materiales o sitios que requieren de un cierre
- Establecer los controles necesarios que garanticen que el cierre está cumpliendo su cometido

7.12 Acción correctiva, acción preventiva

Todas las no conformidades encontradas en el desarrollo del SGA, deben necesariamente contar con su acción correctiva, esta acción es muy importante, porque será necesario evaluar el porqué del incumplimiento (fallas en la comunicación, falta de capacitación, No contar con el personal adecuado, etc.). Las no conformidades no solo se ocupa de las acciones correctivas, sino además de los plazos para las correcciones y si es necesario de los elementos para hacerlo. Un punto final es reforzar esta actividad, de tal manera, de asegurar que la no conformidad no se repita

7.13 Registros

Los registros se dan en todas las etapas del desarrollo del SGA.

En las etapas de Planificación, los registros se dan para información de los temas que va a permanecer por un periodo relativamente permanente, tales son la definición de objetivos y metas.

Durante la etapa de Implementación, los registros se producen constantemente y éstos son acumulativos, de esta manera, se registran la información de los monitoreos, los registros de las medidas de controles de operación, los registros de los controles de desempeño, etc.

Durante la etapa de Verificación y Acción Correctiva, de igual manera se registran tanto los proceso realizados de las No Conformidades como los resultados de ésta, es decir el registro de las No Conformidades y la manera de como subsanarlas.

7.14 Sistema de Auditoría

Las auditorias cumplen varias funciones y normalmente verifican si se está cumpliendo las actividades comprometidas, éstas pueden ser

aplicables a normas ambientales, si evalúa el cumplimiento de un Plan de Manejo ambiental, si se trata del cumplimiento del SGA, etc.

Estas pueden ser de varios tipos, como de Oficio, auditorías externas solicitadas por la empresa o internas para verificación de casos muy específicos, tal es el caso de la verificación del cumplimiento del SGA aplicada a los AAS identificados en los asuntos del DAR.

La auditoría que interesa en este estudio, esta relacionada verificar si los aspectos ambientales significativos, están desarrollándose correctamente, de conformidad con los objetivos y metas descritos como parte del planeamiento del SGA y que los controles de gestión estén dando los resultados esperados,

La auditoría interna evaluará

7.14.1 Yacimiento mineral

Los esfuerzos para lograr que la menor cantidad de material clasificado que no debe extraerse, significa evaluar el cumplimiento de todos los procedimientos que garanticen, que los materiales residuales con contenidos importantes de azufre, no salgan al exterior, o lograr que muchos de ellos no tengan la oportunidad de generar DAR

7.14.2 Depósitos de relaves

El examen de auditoría evaluará los esfuerzos dirigidos a que los materiales residuales depositados en la presa de relaves no reaccionen o no se desarrolle el DAR y que los efluentes que se generen sean el menor posible.

7.14.3 Desmonteras y botaderos de marginales.

Se evaluarán todas las acciones para minimizar el desarrollo de DAR y lograr control de los efluentes sean estos en cantidad y calidad, verificando que se está logrando minimizar los volúmenes de efluentes o que se cumpla en controlar los contaminantes de conformidad con las normas ambientales

7.14.4 Aguas de mina

Se evaluarán todas aquellas actividades desarrolladas para lograr que las aguas de mina sean en cuanto a flujo la menor posible y en cuanto a calidad las mas aceptables como efluente debidamente controlado

Los resultados del examen de auditoría se clasificarán en dos tipos , el primero de ellos en no conformidades por el incumplimiento de los procedimientos. Y la segunda el hallazgo de una mejora continua, es decir, que como resultado de la auditoría se encuentra deficiencias, no por el desarrollo del PGA sino porque existen acciones que aun pueden mejorar el cumplimiento de un objetivo de una determinada AAS

7.15 Información de resultados a la alta Dirección

La aplicación del SGA a los AAS en el marco del DAR será informada a la Alta Dirección, tanto de sus resultados favorables o no favorables, como de las no conformidades encontradas. Para el caso de las acciones no favorables , las medidas correctivas y de acción para asegurar mejores resultados; éstos son los elementos para que la Alta Dirección decida dar inicio a una mejora en el sistema

Los temas que se destacan son los siguientes:

7.15.1 Exploraciones en laderas del sector norte

El conocimiento de su potencial de generación ácida y de las zonas con opción a un pronto desarrollo del DAR han permitido iniciar en la brevedad posible el programa de cierre de instalaciones y donde no es aun aplicable las medidas preventivas para evitar el desarrollo del DAR.

7.15.2 Yacimiento Mineral.

El conocimiento de los diferentes tipo de minerales que se van a extraer, sus características de potencial de generación ácida, la forma de como este material quedará expuesto en el exterior, los lugares de disposición final, etc., va a permitir preparar los planes de manejo ambiental dirigidos a minimizar el impacto y el control eficiente del DAR: todo esto puede simplificarse si menos material residual entre en juego, es decir minimizar la extracción de material con valores de PNN negativos

7.15.3 Depósitos de relaves

La estabilidad química de los depósitos de relaves se alcanza si se logra que el material residual no entre en reacción: esto significa que los materiales con contenidos de pirita estén alejados del oxígeno del aire, para lograr esto se debe mantener el material residual sobre capas finas de relaves o sobre una capa de agua evitando que el oxígeno alcance a oxidar al azufre de la pirita

7.15.4 Desmonteras o botaderos de marginales.

Un conocimiento adecuado del material a depositarse podría de alguna manera disponer a los más peligrosos, desde el punto de vista del DAR, en lugares menos accesibles al oxígeno y en lo

posible evitar que agua sea el agente de transporte del oxígeno provocando procesos de lixiviación de la pirita u otro sulfuro o el agente de transporte de los productos de descomposición del sulfuro

7.15.5 Aguas de minas

La primera acción es la mitigación de las aguas de minas, (utilizar todos los procedimientos de control terciario y secundario para el manejo del DAR) esta actividad incluye la minimización de las aguas de mina, minimización como efluente y que estas estén controladas en su calidad de conformidad con la normas ambientales . Finalmente utilizar los controles primarios para minimizar el DAR tratando de realizar acciones de pasivar en el mismo foco donde se producen las aguas ácidas.

CONCLUSIONES

1. Sistema de gestión ambiental SGA

El control del drenaje ácido de roca (DAR) de un yacimiento polimetálico, ubicado en la Sierra central es evaluado utilizando como instrumento, un sistema de gestión ambiental (SGA), donde el eje gira en la determinación de los Aspectos Ambientales más Significativos AAS y atenderlos bajo el mecanismo de un sistema continuo, aplicando procedimientos de planificación, implementación, control y supervisión, además, compromisos de la alta autoridad de la empresa, de implementarlos en el marco de la declaración de sus Políticas Ambientales y Objetivos devenidos de los AAS identificados para sus actividades; en el Cuadro N° 8.1 se indica los temas comprometidos en el SGA

CUADRO Nº 8-01			
ETAPAS DEL SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL SGA			
	ETAPAS	REQUISITOS	N
SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	POLÍTICAS AMBIENTALES		1
	PLANIFICACIÓN	IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS AMBIENTALES	2
		NORMAS AMBIENTALES	3
		OBJETIVOS Y METAS	4
		PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL	5
	IMPLEMENTACIÓN Y EJECUCIÓN	ORGANIZACIÓN	6
		CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO	7
		COMUNICACIONES	8
		PREPARACION DE DOCUMENTOS	9
		CONTROL DE DOCUMENTOS	10
		OPERACIONES Y CARACTERÍSTICAS CLAVE	11
		PREPARACION Y RESPUESTAS DE EMERGENCIAS	12
	VERIFICACIÓN Y ACCIONES CORRECTIVAS	MONITOREO Y MEDICIONES	13
		NO CONFORMIDAD, ACCIÓN CORRECTIVA, ACCIÓN PREVENTIVA	14
		REGISTROS	15
		SISTEMA DE AUDITORÍA	16
	REVISIÓN POR LA DIRECCIÓN		17

El mayor crédito en la utilización del SGA es que los AAS están estrictamente referidos a los materiales con mayor potencial de generación ácido, a los identificados como los más importantes de atenderlos por su implicancia en el medio ambiente y salud de las

personas y, además, en términos de riesgo ambiental. Un segundo crédito ya mencionado líneas arriba es la forma como está organizado en etapas lógicas con precedencias, además, ligadas unas a otras de manera continua y que en su conjunto permiten la configuración de las mejoras continuas. Un tercer crédito en el empleo del SGA es que éste queda orientado desde sus políticas ambientales y sus objetivos en el tema del control del DAR, como son los planes preventivos, (control del DAR primario), los planes de mitigación y minimización del contaminante (control DAR secundario y terciario) En el cumplimiento de la legislación ambiental y tratamiento inmediato de los materiales que ya iniciaron el proceso DAR (control del DAR terciario)

2. Aspectos Ambientales: Materiales seleccionados.

En un yacimiento polimetálico con más de 50 años de operación mantienen un conjunto de materiales depositados en diferentes lugares y cada uno de ellos tiene la posibilidad de convertirse en un material de generación de ácido.

Lo importante en este tema es que cada depósito de material residual o áreas mineras, constituyen los aspectos ambientales que deben evaluarse en base a un conjunto de criterios técnicos que define la capacidad del material a formar DAR. El crédito principal es el barrido que se hace en la Unidad Minera, de todos sus residuos minerales / actividades / instalaciones que, de alguna manera, están relacionadas con el DAR y cada una de ellas está evaluada como un aspecto ambiental del proyecto

Las muestras seleccionadas son las siguientes:

a. *Muestras de roca:* (formando depósitos)

- Muestra # 1 Botadero de la Quinua (operación) > 1000,000
TM, Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente

alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.

- Muestra # 2 Material abandonado ubicado a la salida de aguas de drenaje de la Presa. (Pasivo ambiental) <3000TM Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
- Muestra # 3 Ladera de cerro: frente al colegio (pasivo ambiental: < de 80,000 TM.) La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones. Son áreas oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piratas ni material calcáreo
- Muestra # 4 Ladera de cerro: Frente al Hotel. (Pasivo ambiental. Menor de 30,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piratas ni material calcáreo
- Muestra # 5 Ladera de Cerro frente a oficinas administrativas. (pasivo ambiental. Menor de 30,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo No se espera presencia de piratas ni material calcáreo
- Muestra # 6 Ladera de cerro frente a la carpintería (pasivo ambiental) < 50,000 TM La superficie está alterada por operaciones antiguas de exploraciones) Superficies oxidadas, en zona de intrusivo Esta área se encuentra cerca a cuerpos mineralizados como tal se espera bajo álcalis y presencia entre media a baja de piratas
- Muestra # 7 Dique en construcción La Quinoa (operación) < de 100,000 TM Son materiales de desarrollo de mina, y

ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.

- Muestra # 8 Banqueta presa de relaves (operación) < de 20,000 Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
- Muestra # 9 Dique parte superior de la presa (operación) < 30,000 TM Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.
- Muestra # 10 Dique parte Intermedia (Levantamiento antepenúltimo del dique). (Operación) < de 10,000 TM Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piratas.

b. Muestras de relaves. (Compósito de material fino) Estos materiales provienen de zona mineralizada como tal se espera básicamente presencia de piratas, en algunos caso con presencia notable de carbonatos y en otros con poco álcalis

- Muestra 11 Relaves de Planta Concentradora. (Operación), 2,400 TM/día
- Muestra # 12 Relaves de ciclón Arenas. (Operación) 600 TM/día
- Muestra # 13 Relaves de ciclón Finos (operación) 1800 TM/día

- Muestra # 14 Finos de drenaje la Quinoa. (Operación) < de 10,000 TM
- d. *Material obtenido de algunas base de obras civiles.* Son materiales seleccionados, normalmente de desarrollo de mina, alejados de yacimiento mineral, como tal se espera bajos contenidos de pirita y material calcáreo variable e incluso escaso
- Muestra # 17 Material grueso frente al depósito de botaderos (botadero en operación) < 20,000 TM
 - Muestra # 18 Material grueso tomado de la base del Estadio (cerca de mina de oro) (botadero reciente) < 30,000 TM
 - Muestra # 19 Material grueso (Pariamarca aguas arriba) (Botadero reciente) < 10,000 TM
- e. *Materiales mineros complementario al primer grupo de muestreo.*
- Muestra # 20 Área correspondiente a la futura laguna de aguas servidas pretratadas 30,000 TM (pasivo ambiental) Material de mezcla con presencia notable de depósitos de relaves antiguos.
 - Muestra # 21 Material de botadero: Túnel de Presa (pasivo ambiental) <10,000 TM Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espera concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piritas.
 - Muestra # 22 500 m antes de San Miguel (pasivo ambiental) Son materiales de desarrollo de mina, y ligeramente alejado del cuerpo mineralizado, se espero concentraciones importantes de material de caliza con mediana a baja presencia de piritas.

- Muestra # 23 Dique Antigo (pasivo ambiental) < 15,000 TM
Material de yacimiento formado por arenas gruesas, se espera importantes concentraciones de pirita

f. *Muestras obtenidas de las laderas oxidadas en áreas de presencia de drenaje ácido.*

Estos materiales se encuentran en zona del intrusivo, además son muestras superficiales oxidadas, no se espera ni piritas ni material carbonatado

- Muestra # 24 Boca Mina Nv. +100 Lucho (pasivo ambiental)
- Muestra # 25 Intrusivo Nv. +100 Lucho (pasivo ambiental)
- Muestra # 26 Intrusivo Lucho: Cerca Base militar (pasivo ambiental)
- Muestra # 27 Intrusivo Nivel +170 Éxito (pasivo ambiental)
- Muestra # 28 Intrusivo Nivel +170 Carmen (pasivo ambiental)
- Muestra # 29 Intrusivo Nv. +80 Carmen (pasivo ambiental)
- Muestra # 30 Intrusivo Nv. +80 Carmen Norte (pasivo ambiental)

g. *Muestras obtenidas en el interior mina.*

- Muestra # 31 Nv -440 Carmen Norte 3 Area1 (operación)
En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 32 Nv -440 Carmen Norte 3 Área 2 (operación)
En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 33 Nv -440 Carmen Norte 3 Área (operación)
.En caja de veta se espera presencia notable de piritas
- Muestra # 35 Nv -600 Carmen Norte 4 Área 3 P+S
(operación) En caja de veta se espera presencia notable de piritas

- Muestra # 36 Nv -600 Carmen Norte 4 Área 3 (operación) En caja de veta se espera presencia notable de piritas

3. Caracterización de los materiales en su capacidad de su potencial de generación ácida

La aplicación de los parámetros como PA, PN, PNN, PN/PA, Qr a todos los posibles materiales minero-metalúrgicos recolectados e identificados como aspectos ambientales, nos han permitido identificar aquellos materiales que deben atenderse desde el punto de vista de estabilidad química y descartar otros cuyos valores de PNN dieron positivos y que no requieren de un control del DAR.

El procedimiento de evaluación estaría dado por las siguientes determinaciones, sin ser estas limitativas:

- Descripción de la muestra; Procedencia, cantidad, características físicas, etc.
- Mediciones de pH - pasta.
- Determinación del contenido de S (sulfuro) PA.
- Potencial de Neutralización PN.
- Potencial de Neutralización Neta PNN.
- Relación PN/PA.
- Cantidad de reacción Qr

La importancia de este punto son los criterios de evaluación de los materiales mineros metalúrgicos en términos de la probable generación del DAR, ya que va mas allá de las habituales interpretaciones del PNN, en razón de que se ha ampliando los conceptos de:

pH en pasta y % de material soluble , como elementos que definen el tiempo en que el material ya inicio su proceso DAR, en qué situación se encuentra y los elementos metálicos aportantes

Los valores de PA, tomados no solamente como la cantidad de ácido que pueda aportar sino relacionado en sus límites bordes, tanto al máximo que alcanza los 1700 Kilos de CO_3Ca / TM de mineral y el límite mínimo, cero.

PNN no solo representada en el balance ácido -base , sino además, en términos de cantidades de material que va a formar ácido o álcalis

PN/PA no solo mide la relación que si es menor de 1, como tal, ésta es generadora de ácido, sino además, en la interpretación de la capacidad de intensidad de reacción en que este pueda desarrollarse, pues se le atribuye criterios de veces más o veces menos.

El criterio de cantidad de reactante (Qr), que mide al material en las cantidades que pueda reaccionar, este nuevo criterio es la suma del PA + PN , mientras más grande sea éste, es mayor la cantidad de materia a reaccionar

4. Selección de los materiales con alto potencial de desarrollo del DAR

Todas las muestras evaluadas mostraron características diferentes en sus valores de PA y PN, como tal , las valoraciones para identificar los AAS se hacen muy amplias, pues se tendría que evaluar más de 30 aspectos y no menos de 15 criterios; con el fin de simplificar la evaluación se procede a una reducción de los elementos a evaluarse utilizando agrupamiento de los materiales por características similares, de esta manera, para el caso de los materiales evaluados, se busca reducir su número de evaluación, de la siguiente manera: primero, se indica claramente su característica de no ser un material capaz de generar DAR, y segundo, agrupando todos aquellos que tengan

características comunes; para este último caso se encontraron algunas características que permitieron agruparlos; así por ejemplo.

- Muchas muestras evaluadas tenían valores bajos en su PN, es decir de bajos contenidos de carbonatos; revisando su procedencia, casi todas ellas pertenecían a la zona del intrusivo.
- Otras muestras por el contrario contenía valores altos de PN, de la misma manera se observó que estas muestras provenían de la zona de rocas calcáreas.
- Otras muestras mostraron tener bajo PN pero alto PA, y se observó que se trataba de muestras provenientes de la zona intrusiva pero en cercanías a mineralización de sulfuros
- Asimismo se encontró muestras con alto PN y alto PA, estas muestras fueron obtenidas de la zona de mineralización pero encajonadas en roca calcárea.

Existen otras combinaciones con los términos Intrusivo calcáreo, y cercanía o lejanía al cuerpo mineralizado.

Bajo estos criterios, el conjunto de los 34 muestras evaluadas, se agruparon en 10 grandes grupos que se muestran en los Cuadros 8-02 y 8-03. El crédito de esta metodología es que permitió evaluar de manera mas sencilla (la matriz de evaluación se hizo mas pequeña), los diferentes aspectos ambientales identificados en la Unidad minera.

**Cuadro N° 8-02 Clasificación de las muestras examinadas en grupos
atendiendo a su procedencia**

MATERIALES RESIDUALES MINEROS	Zona	Cuerpo Mineralizado	Muestra	Grupo
MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS	Intrusivo	Cerca	25, 4, 26, 27, 6	1
		Alejado	3, 5, 30, 28, 29	2
	Calcareo	Cerca		
		Alejado		
MATERIALES MINEROS PARA OBRAS INFRAESTRUCTURA: Bases de diques, de camino, etc	Intrusivo	Cerca		
		Alejado		
	Calcareo	Cerca	7	3
		Alejado	19, 18	
BOTADEROS. Materiales mineros desde marginales a estériles	Intrusivo	Cerca		
		Alejado	17	
	Calcareo	Cerca	2, 1, 21, 22	4
		Alejado		
DIQUE DE DEPOSITOS DE RELAVES	Intrusivo	Cerca		
		Alejado		
	Calcareo	Cerca	9, 8	5
		Alejado	10	
SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE: Muestras tomadas en las paredes de zona de vetas	Intrusivo		35, 31	6
	Calcareo		33, 36, 32	7
DIQUES DE DEPOSITOS FORMADO POR ARENAS	Mezcla	En Yacimiento	23, 12	8
DEPOSITOS DE RELAVES	Intrusivo	En Yacimiento	11	9
	Calcareo	En Yacimiento	20, 14, 13	
Contenidos de menas sulfurados no beneficiables	Intrusivo	En Yacimiento		10
	Calcareo	En Yacimiento		

Cuadro N° 8-03 Valores promedios de PNN, PN/PA, Qr aplicada a los diferentes grupos de materiales definidos por su procedencia

GRUPO	TIPO DE MATERIALES	N° Muestra	% de soluble	PNN	PN/PA	Qr (PN+PA)
				KG CO-Ca/T		KG CO-Ca/TM
Grupo 1	MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos , superficiales y cerca al cuerpo mineralizado	4	9.96	-89.130	0.314	170.875
		26	21.91	-357.080	0.178	511.675
		27	32.79	-191.813	0.251	320.680
		6	7.70	-302.313	0.426	518.315
		Promed	14.47	-235.084	0.292	380.386
Grupo 2	MATERIALES DE EXPLORACIONES ANTIGUAS ubicados en zona de intrusivos , superficiales y alejado al cuerpo mineralizado	3	72.56	-4.187	0.980	80.780
		5	24.58	-3.687	0.922	90.688
		30	44.11	-82.618	0.469	228.643
		28	23.13	-0.737	0.990	146.763
		29	59.06	28.340	1.379	177.720
		Promed	44.69	-22.807	0.840	136.719
Grupo 3	MATERIALES MINEROS PARA OBRAS INFRAESTRUCTURA normalmente obtenidos de zona calcarea	7	1.82	536.625	4.533	840.375
		19	1.53	422.950	11.492	503.570
		18	24.14	375.138	55.565	388.888
		Promed	9.16	444.904	19.031	577.611
Grupo 4	BOTADEROS. Materiales mineros desde marginales a estériles Zona calcareo y cerca al yacimiento	2	6.59	817.188	7.587	1065.313
		1	0.62	425.125	3.106	828.875
		21	1.42	444.297	4.401	705.507
		22	1.12	414.129	4.744	635.679
		Promed	2.44	525.185	4.960	808.844
Grupo 5	DIQUE DE DEPOSITOS DE RELAVES de zona calcarea, tanto alejado como cerca del cuerpo mineralizado	9	0.69	931.250	6.944	1072.500
		8	0.88	646.250	5.575	928.750
		10	14.79	354.125	4.939	449.130
		Promed	5.45	643.875	5.819	816.793
Grupo 6	SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE Ubicado en zona de intrusivo	30	44.11	-82.618	0.469	228.643
		31	3.44	-247.480	0.388	561.280
		Promed	23.78	-165.049	0.442	394.962
Grupo 7	SUPERFICIES DENTRO DE GALERIAS EXPUESTAS AL AIRE Ubicado en zona calcarea	33	0.26	223.380	1.919	709.630
		36	0.10	118.128	1.387	728.750
		32	0.46	-55.496	0.863	753.254
		Promed	0.27	95.337	1.390	730.545
Grupo 8	DIQUES DE DEPOSITOS FORMADO POR ARENAS pertenecen a material de la zona mineralógica pudiendo ser tanto de zona calcarea como intrusivo	23	1.55	-227.950	0.522	725.800
		12	0.08	-675.000	0.187	996.250
		Promed	0.82	-451.475	0.355	861.025
Grupo 9	DEPOSITOS DE RELAVES, pertenecen a material de la zona mineralógica pudiendo ser tanto de zona calcarea como intrusivo	11	0.22	-555.438	0.232	891.488
		20	1.01	197.431	1.925	624.306
		14	0.15	-44.875	0.890	773.875
		13	1.22	-63.188	0.834	696.188
		Promed	0.65	-116.518	0.970	746.464
Grupo 10	Contenidos de menas sulfurados no beneficiables Las que pueden encontrarse en zona del intrusivo					
		Promed	0.00	0.000	0.000	0.000

5. Aspectos ambientales significativos

Para la determinación de los aspectos ambientales significativos se aplicaron criterios donde primó la mayor posibilidad de generación de ácido, la mayor posibilidad en cuanto a riesgo ambiental y criterios en relación al impacto y su entorno.

Los criterios para la valorización son variados y todos ellos interrelacionados con el desarrollo del DAR; entre los más importantes se tiene el criterio de Intensidad dado básicamente por la relación PN/PA, el criterio de Cantidad, dado por la diferencia de PN-PA y multiplicada por el volumen de la muestra, el criterio de temporalidad, dada por la granulometría y el volumen de la muestra, criterios de Riesgo Ambiental, como la cercanía del ente receptor, criterios de Importancia como Impacto, etc. Con el fin de simplificar la valoración todos los criterios se agruparon en tres grandes grupos y cada uno de ellos define una cualidad especial de la evaluación; para tal efecto se aplicó un modelo que evalúa

- Su capacidad de desarrollar drenaje ácido
- Su nivel de riesgo ambiental
- Su importancia como impacto ambiental

Del resultado de todo el proceso de evaluación, de valorizar los diferentes grupos de materiales con los criterios seleccionados, los que alcanzaron mayor puntaje fueron definidos como los Aspectos Ambientales más Significativos, con los cuales se pone enmarca el SGA. El crédito de esta metodología es que ha permitido seleccionar más de 20 criterios relacionados a la posibilidad de generación de ácido, agruparlos en tres grandes grupos y de esta manera cada grupo se evalúa independientemente con los aspectos ambientales (también reagrupados); finalmente, los tres grupos son agrupados con el fin de contar con la calificación final donde se determina cuáles

aspectos alcanzaron la mayor puntuación y como tal calificarlos como los aspectos ambientales más significativos y de atención prioritaria

De acuerdo a las valorizaciones realizadas, los aspectos ambientales más significativos en orden de importancia son los siguientes

AAS1 Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo (no se excluye zona calcárea) y cerca al yacimiento

Son materiales, superficiales y cerca al cuerpo mineralizado: Están constituidos por las muestras 25, 4, 26, 27 y 6. Estas áreas se encuentran expuestas directamente al medio ambiente, como consecuencia del desalojo del material superficial; producto de esta operación se presentan dos casos como medios disturbados: la nueva superficie expuesta y el material desbrozado que es abandonado en las cercanías del lugar o al pie del área descubierta. Estas zonas representan áreas entre 1000 a 5000 M² y pueden ubicarse entre 10 a 15 . Son materiales que en algunos casos aun contienen importantes concentraciones de material soluble y pueden generar soluciones con cationes producto del desarrollo del DAR en épocas anteriores

AAS2 Depósito relaves (incluye el dique depósito antiguo formada por relaves gruesos)

Las cantidades almacenadas son del orden de los 8 millones y que representan los depósitos de más de 15 años. Los criterios que le da una alta valoración al depósito de relaves son: criterios de magnitud, temporabilidad alta e irreversibilidad; además, es de intensidad mediana. Su granulometría fina, a pesar de que favorece una gran área superficial de reacción, sin embargo la forma de su disposición lo hacen poco reactivo y aun más, si sobre de ellos, se propone el uso de una capa de agua.

Los depósitos de relaves están conformados por los finos después del cicloneo, su evaluación respecto al DAR es entre medio a bajo, su relación PN/PA es menor a 1 pero cercano a este. Los valores le confiere características de intensidad media a baja y su PNN es de - 116 Kg CO₃Ca/TM de mineral. El grado de molienda es aproximadamente 60 % pasando malla 200. Por las características macroscópicas existe baja presencia de piritas y en general los relaves en su mayor parte están cubiertos por agua. De acuerdo a su diseño este depósito va a quedar insitu de por vida y posiblemente para su correspondiente Plan de Cierre se tendrá que decidir por un sistema de depósito bajo agua o por cubiertas superficiales.

La contaminación más cercana puede ocurrir a las aguas del río Lloclla que hace de receptor, sea esta a través de las aguas de drenaje de la presa o por las aguas subterráneas.

Los efluentes superficiales están controlados en su calidad y es responsabilidad de la Empresa su continuo control; asimismo la calidad de las aguas guarda vivo interés en controlarlas en el marco de las exigencias de la comunidad y como políticas de la Empresa.

En el ASS2 También se considera el dique que está conformado por arenas gruesas de los relaves durante una separación por cicloneado. La presencia de pirita es notable; una parte menor del dique está expuesta al medio ambiente ya que es una instalación de cierre. De estos materiales se estiman cantidades del orden de los 100,000 TM. En general tiene características más notables para el desarrollo del DAR por sus valores más altos en el PA y porque el material es relativamente más poroso que el de los relaves

AAS3· Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico PA
<700 PN < 400.

Por lo general estos materiales se encuentran cerca del yacimiento y de preferencia en zona de intrusivo

Estos materiales tienen valores importantes como potencial de desarrollo del DAR, además, como de impacto importante, pero tiene valores bajos en riesgo ambiental, por ser un material interno donde no está activo el cuerpo receptor.

El conocimiento de su ubicación es muy importante para el minero, porque puede desarrollar la explotación minera, tratando de minimizar que estos materiales salgan a superficie o alertar al metalurgista que se trata de un material de alta capacidad de generación de DAR, con el fin de disponer los relaves en zonas más seguras, es decir alejadas del aire.

Estos materiales tienen un alto potencial DAR en el criterio de intensidad, dado especialmente por sus altos valores de PA y bajos valores de PN (normalmente se encuentran en zona de intrusivos). Los valores de extensión son también importantes y los factores de importancia por la empresa, porque su explotación recae en beneficios económicos

AAS4 Superficies libres en galerías de zona intrusiva y cerca del yacimiento.

Estas áreas son las causantes directas de la formación de aguas ácidas.

Ubicadas en zona de intrusivo, constituidas por las muestras 35 y 31. Estas áreas si encuentran las condiciones necesarias como oxígeno y agua entonces se desarrolla el DAR y constituyen las aguas de mina

Existen alrededor de 10 galerías abandonadas, pero solo tres de ellas muestran la presencia de aguas ácidas en volúmenes que varían de 10 a 50 litros/minuto.

Este AAS tiene importancia especial porque ya es un DAR y requiere programas de mitigación para su control

El mayor crédito de la identificación de los AAS es que se da un orden

de importancia o de prioridad para ser atendido; identifica en su evaluación los criterios que acentuaron su calidad de AAS y a su vez identifica las rutas críticas, las necesidades de capacitaciones especiales, controles específicos; en general el PGA es desarrollado en base a los AAS. Otro crédito está relacionada a la libertad que tiene la Empresa de desarrollar un AAS o mas, de acuerdo con e nivel de urgencia que representa esta actividad y de los recursos disponibles que tiene en ese momento la Empresa.

6. Definición de Objetivos

Para la definición de Objetivos se introduce una técnica de cruce de información donde se combina elementos que constituyen los principales postulados de las políticas ambientales y por otro lado los AAS en orden de prioridad. Para realizar las combinaciones utilizamos una matriz de combinación; la interrelación de cada unos de estos elementos puede generar un Objetivo, la importancia del Objetivo quedara definido si la matriz es valorizada en los tres elementos que intervienen: Postulados de las políticas ambientales; AAS (para este caso, si ya existe una valorización) y finalmente el grado de interrelación

En el Cuadro N° 8-04 se muestra una matriz de interrelación donde los AAS interrelaciones con los postulados de las políticas ambientales y el resultado en un OBJETIVO que recoge un postulado de la política ambiental y se aplica a un AAS

Cuadro Nº 8 - 04 Matriz de selección de los objetivos del SGA para el manejo del DAR

AAS	Descripción del Aspecto	Minimización	Prevención	Legislación	Mej continuas
AAS1	Materiales de exploraciones en zona de Intrusivo (no excluye en zona calcárea) y cerca al yacimiento	Se requiere de actuación inmediata		Aplicable entre otros pasivos ambientales	Se propone por ser el AAS1
AAS2	Depósito relaves (incluye el dique deposito si esta está formada por relaves gruesos)		Requiere actividades de prevención	Normatividad variada sobre estabilidad de presas de relaves	Se propone por ser el AAS2
AAS3	Materiales que pueden provenir del Yacimiento polimetálico PA <700 PN < 400.	Minimizar extracción de material peligroso	Reune condiciones para aplicar actividades de prevención		
AAS4	Superficies libres en galerías de zona intrusiva y cerca del yacimiento. Aguas acida de mina	Se requiere de actuación inmediata		Normatividad variada sobre aguas ácidas	

7. Confección del PGA

Identificados los objetivos , entonces se prepara las metas para el cumplimiento de estos objetivos, se identifica las rutas críticas, los controles operacionales, etc. para cada AAS y de esta manera se va completando todo el proceso de planificación del SGA aplicada a los AAS.

El desarrollo de la planificación del SGA para los diferentes AAS han permitido desarrollar un PGA el que contienen para cada AAS , los siguientes puntos:

- Objetivos
- Metas
- Controles operacionales
- Actividades críticas
- Control de desempeño
- Operaciones
- Características claves

El mayor crédito es el de contar con un PGA que ordena todas las actividades de planificación y por otro lado, permite que cada AAS sea gestionada de manera independiente, y de manera integrada a los otros AAS , todos dentro del SGA

8. Implementación

La implementación del PMA aplicada al control del DAR ha permitido realizar las siguientes acciones

- Definir con la organización y los recursos necesarios para atender todos los AAS.
- Dirigir la capacitación a resolver los asuntos del DAR y el entrenamiento suficiente para atender los diferentes AAS.
- Realizar los controles necesarios y su evaluación que permitan detectar a tiempo si los procesos del DAR evolucionan correctamente o la necesidad de tomar nuevas medidas.
- La aplicación de procedimientos de control primario como una medida preventiva, de esta manera el conocimiento del PA, PN y su interpretación en los valores de PNN y PN/PA. Y de manera complementaria la medidas de Control secundario para el tratamiento del DAR .

Para el caso de la presencia de desarrollo del DAR o la presencia de aguas ácidas y/o de cationes metálicos, en estas situaciones se prevé el empleo de un control terciario, a emplearse de manera inmediata

La aplicación del Control secundario y Control terciario para el tratamiento del DAR garantizan que las aguas ácidas y presencia de cationes metálicos serán todos tratados , minimizando efluentes y logrando la calidad del efluente de conformidad con las normas ambientales.

9. Etapa de Verificación y acción de control

La etapa de Verificación y acción de control nos asegura que el SGA está funcionando correctamente y esto debe entenderse en términos del control del DAR, Esta etapa no solo da la garantía de un adecuado manejo del SGA, sino además da la oportunidad a que se produzcan mejoras continuas.

10. Ampliación de las políticas ambientales

Si la aplicación del SGA al manejo del DAR, aun resulta incompleta es posible introducir o ajustar las políticas ambientales, en temas más específicos o complementarios dirigidos hacia una mejora en el control del DAR. El punto esencial es asegurar la estabilidad de los materiales minero- metalúrgicos residuales con potencial de DAR, tanto durante la etapa de operación como después del cierre de mina

La revisión de las políticas ambientales y su complementación en el sentido de ampliar aun más el control de DAR dará inicio o continuidad al SGA en el marco de las mejoras continuas.

11. Redefinición de objetivos

Más que una redefinición de objetivos es complementar con objetivos nuevos que nacen de la ampliación de las políticas ambientales y éstos estarán enmarcados en los mismos AAS o nuevos que aseguren la continuidad de la estabilidad química durante la operación y después del cierre de instalaciones.

BIBLIOGRAFIA

1. Consulcont S.A. Evaluación ambiental preliminar (EVAP). Unidad de Producción Minera de Yauricocha. 1994
2. E Peter Short course: Bio extractive mining Eh- pH diagram on the System Cu.Fe- S-H₂O AIME.1986
3. EPA Design Manual : Neutralization of acid mine drainage EOA-600/2-83-001 January 1983
4. Higgs Associates. Technical Guide for the Environmental Management of Cyanide in mine. British Columbia Technical and Research Committee on Reclamation. July, 1992
5. KILBORN INC, Best Available Pollution Control Technology, 2200 Lake Shore Blvd West, Toronto, Ontario, Canada December 1991
6. Lovell, H.L. An Appraisal of Neutralization Process to Treat Coal Mine Drainage. Technology Series Report, EPA-670-2-73-093, Washington, D.C, November 1973
7. Ministerio de Energía y minas Guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina. Volumen IV Dirección general de asuntos Ambientales Mayo 1995
8. Monhemius, A.J Precipitation diagrams for metal hydroxides, sulphides, arsenates and phosphates. Department of Metallurgy and Materials Science, Imperial College of Science and Technology, London
9. Philippe J. Poirier. Acid Mine drainage characterization and treatment at le mine Doyon
10. Quiroz, Germán. Guía Ambiental para el manejo del cianuro. Dirección de Asuntos Ambientales. Ministerio de Energía y Minas Perú
11. Rodríguez Velarde Germán Jorge, Gestión Ambiental en el tratamiento del Drenaje ácido de Roca. II Congreso Nacional de Minería Colegio de Ingenieros del Perú Consejo departamental de Lima Capítulo de Minas Geología y metalurgia. Trujillo 1998
12. Rodríguez Velarde Germán Jorge La lixiviabilidad de los sulfuros metálicos y el drenaje ácido de roca. Instituto de Minas del Perú. XXIV Convención de Ingenieros de Minas. Arequipa 14 -18 Set 1999

13. Rodríguez Velarde Germán Jorge. Caracterizaciones de materiales minero-metalúrgicos de la Compañía Minera Milpo Cerro de Pasco. Informe técnico ECOTEC 1997
14. Selmecej, J.C The Design of Oxidation Systems for Mine Water Discharges. Fourth Symposium on Coal Mine Drainage Research, Pittsburgh, Pennsylvania, Abril 1972
15. Summers-Broughton, Linda. Practical guide to Acid mine Drainage. Dirección de asuntos ambientales. Ministerio de Energía y Minas. República del Perú . Julio, 1994
16. Vaughan D.J; Craig J.R Mineral Chemistry of Metal Sulfide. Cambridge University Press. Cambridge 1978
17. Villachica Carlos. Características mineralógicas que influyen en la calidad de efluentes; Unidad de Producción de Morococha.
18. Villachica Carlos. Tratamiento de aguas ácidas del Socavón Smelter. Sociedad Minera el Brocal S:A Informe técnico,2001

CURICULUM VITAE

01.- DATOS PERSONALES

Nombre: **GERMAN JORGE ENRIQUE RODRIGUEZ VELARDE**
 DNI 08011522
 Dirección: Alfredo Franco 240 – Surco Lima
Teléfono: 271-6795 // 996451021

02.- TITULOS

01 Maestría Maestría en Ciencias con mención en Minería y Medio Ambiente
 Institución que confiere Universidad Nacional de Ingeniería

02 Posgrado Biohidrometalurgia
 Institución que confiere Universidad Valparaíso - Chile

03 Posgrado Hidrometalurgia
 Institución que confiere Universidad de Lovaina – La Nueva Bélgica

04 Título Profesional Ing. Metalurgista
 Institución que confiere Universidad Nacional de Ingeniería

05 Colegio Profesional Colegio de Ingenieros del Perú CIP
 Número de colegiatura 14505

03.- EXPERIENCIA EN TEMAS HIDROMETALURGICOS.

EMPRESA	CARGO	PERIODO	FUNCION
Universidad Nacional de Ingeniería	Tema de tesis de Maestría	2010	Tesis de grado La aplicación del Sistema Gestión Ambiental al DAR
ECOTEC / CMHorizonte	Jefe de Proyecto	2010	Estudio de la cuenca del Parcoy . Evaluación del As, Pb y Zn como contaminante al río Parcoy
ECOTEC/ Real Aventura	Jefe de Proyecto	2010	Tratamiento de aguas ácidas: Evaluación y plan de manejo ambiental
Ecotec S.A	Investigador	2006-2007	Lixiviabilidad de materiales abandonados de minas Azulcocha
<u>Empresa Minera Azure /Clean</u>	Responsable del Estudio	Nov 2006 a	Responsable del diseño, ejecución y evaluación de caracterización de

Tecology		marzo 2007	muestras sólidas. Prueba ABA y pruebas de cinética, INSITU y a mediano plazo.
<u>GMI / Aceros Martin:</u>	Responsable del Estudio	2007 Oct a Dic 2007	Cierre de pasivos ambientales Con generación de aguas ácidas
<u>ECOTEC S.A./Empresa Minera Barbastro,</u>	Jefe de proyecto.	Noviembre- Diciembre 2006	Ingeniería del Plan de Cierre de pasivos ambientales de Mina Marta.
<u>CESEL COMARSA.</u>	Responsable del estudio	Febrero a Agosto 2006	Plan de cierre de minas Comarsa
<u>Ares. S.A Tecnología XXI</u>	Consultor especialista	Setiembre y Noviembre 2005.	Evaluación geoquímica de la laguna Huisca Huisca (Minas Arcata) y su entorno. Ingeniería conceptual de las alternativas para su recuperación.
BHP Billinton. Desarrollo y Ecología	Asesor ambiental en temas de DAR	Agosto a Octubre 2004	Proyecto las Bambas. Evaluación Ambiental para exploraciones.
<u>Empresa Minera Milpo/ Ecotec</u>	Consultor especialista	Mayo 2004.	Ingeniería del Proyecto Pampas de cobre. Sistemas de modelación para las etapas de Lixiviación Extracción por Solventes y Cristalización.
.ECOTEC S.A.	Responsable del Proyecto	1998	Desarrollo del EIA del Proyecto de Tratamiento de rios de lixiviación con contenido de oro para la Mina San Nicolás.
ECOTEC S.A.	Responsable del Estudio	1998	Elaboración del Estudio de Potencial Acido Base de los minerales del emplazamiento minero de la mina Milpo S:A.
ECOTEC S.A.	Responsable del Estudio	1998	Elaboración del Estudio de tratamiento de Aguas Acidas del emplazamiento minero de la mina Milpo S:A.
Northen Perú	Consultor Independiente	1995	Diseño de la planta piloto de SX-Cristalización de las minas Quiruvilca para el proyecto de tratamiento de aguas ácidas de mina.

Terral (Chile)	Asesor Metalúrgico Cu	1995	Diseño de Planta Piloto de SX-Lixiviación, y construcción. Magma Tintaya
(Chile)	Asesor Metalúrgico	1995	Diseño y pruebas experimentales para Lixiviación pila dinámica. Empresa Panecillo
Jorge Mustafa (Bolivia)	Consultor Hidrometalúrgico	1994	Diseño y plan pilotaje de tratamiento de minerales oxidados de cobre. Tratamiento de stock pile abandonados. Lixiviación-Cristalización y Lixiviación-cementación.
Grupo Hoschilds – ADMINCO	Asesor Metalúrgico	1993	Desarrollo de minerales oxidados en calidad de stock pile.
Grupo Hoschilds – ADMINCO	Jefe del Proyecto	1991-1993	Diseño de Planta: Lixiviación SX-Cristalización para beneficiar minerales oxidados de cobre
Grupo Hoschilds – ADMINCO	Asesor Metalúrgico	1991	Desarrollo del proyecto obtención de oxiclорuros de cobre, estudio de factibilidad, pruebas experimentales e ingeniería conceptual.
INGEMMET – Area Metalurgia Extractiva	Jefe de División de Hidrometalurgia y Biotecnologías	1985 – 1987	Desarrollo de tecnologías limpias
INGEMMET/ Junta del Acuerdo de Cartagena	Especialista hidrometalúrgico	1982-1989	Edición de documentos técnicos en Tecnologías Hidrometalúrgicas y expositor para los eventos del programa del Grupo Andino sobre Desarrollo minero y negociaciones internacionales (Ecuador), III Seminario Internacional de Aplicaciones Tecnológicas Biohidrometalúrgicas (Colombia), II Seminario de transferencias tecnológicas (Perú) y I Seminario Andino de Información sobre Transferencia de Tecnología (Perú).
OEA / INGEMMET/ JUNAC	Investigador representante de Perú	1982-1985	Desarrollo de investigaciones en el área del cobre. PADT Cobre. Para el desarrollo de los países miembros
INGEMMET	Investigador hidrometalúrgico representante de INGEMMET	1978-1985	Investigación de proyectos: Pilotaje de 60,000 TM de Mineral de Toromocho; Pruebas de Lixiviación a nivel de columnas mina Cerro

			Verde.
INCITEMI	Metalurgista de procesos para refinerías de co	1974-1978	Captación de tecnología de Refinación de Cobre. Caso Ilo Tecnología Japonesa

CURRICULUM VITAE

01.- PERSONAL DATA

Name: **GERMAN JORGE ENRIQUE RODRÍGUEZ VELARDE**
 DNI (National Identity Document): 08011522
 Address: Alfredo Franco 240 – Surco Lima
 Telephone: 271-6795 // 996451021

02.- DEGREES

01 Master		Master's degree in science with a specialization in Mining and Environment.
Institution		Universidad Nacional de Ingeniería
02 Post degree		Bio - Hidrometallurgy
	Institution	Universidad Valparaíso - Chile
03 Post degree		Hidrometallurgy
	Institution	Universidad de Lovaina - Belgium
04 Profesional Degree		Metallurgical Engineering
Institution		Universidad Nacional de Ingeniería
05 Profesional College Number		Colegio de Ingenieros del Perú CIP 14505

03.- EXPERIENCE IN HIDROMETALLURGY

COMPANY	POSITION	PERIOD	COMPETENCIES
Universidad Nacional de Ingeniería	Master's Thesis	2010	Master's Thesis: Application of a Environmental Management System to the Acid Mine Drainage (AMD)
ECOTEC / CMHorizonte	Proyect Manager	2010	Study of the Parcoy river's basin. Evaluation of As, Pb y Zn and other contaminants to the river.
ECOTEC S.A./Empresa	Proyect Manager	November-December	Engineering of the Closing Program of Mina Marta.

<u>Minera Barbastro,</u>		2006	
<u>CESEL COMARSA.</u>	Study responsible	February to August 2006	Closing Program of Comarsa mines.
COMPANY	POSITION	PERIOD	COMPETENCIES
<u>Ares. S.A Tecnología XXI</u>	Specialist consultant	September to November 2005.	Geochemistic Evaluation of the Huisca Huisca Lake (Arcata mines) and its environment. Conceptual engineering of the alternatives to its recovery.
<u>Empresa Minera Milpo/ Ecotec</u>	Specialist consultant	May 2004.	Proyect Engineering of Pampas de Cobre. Modeling systems to the Leaching/Extraction stages by solvents and crystallization.
ECOTEC S.A.	Study responsible	1998	Study of the Acid Base Potential of the minerals from the mining location of Milpo SA.
ECOTEC S.A.	Study responsible	1998	Study of the treatment of Acid Waters from the mining location of Milpo SA.
Terral (Chile)	Metallurgic assessor	1995	Design of a Leaching pilot plant, Magma Tintaya.
Jorge Mustafa (Bolivia)	Hidrometallurgic consultant	1994	Design of a mineral treatment pilot plant. Treatment of abandoned stock pile. Leaching-Crystallization and Leaching-cementation.
Grupo Hochschild – ADMINCO	Metallurgic assessor	1993	Development of stock piled rusted minerals.
Grupo Hochschild – ADMINCO	Proyect Manager	1991-1993	Plant design: Leaching – crystallization to benefit rusted minerals of copper.
INGEMMET – Extractive Metallurgic Area	División Manager of Hidrometallurgy and biotechnology	1985 –1987	Development of clean technologies
INGEMMET/ Junta del Acuerdo de Cartagena	Hidrometallurgic specialist	1982-1989	National manager.
INCITEMI	Process Metallurgist of a copper refinery	1974-1978	Uptake of Copper Refination technologies . Ilo case. Japanese technologies.