TABLA DE CONTENIDO

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO 2.1-1

2.1 LOCALIZACIÓN 2.1-1
2.1.1 Ubicación geográfica 2.1-1
2.1.2 Concesiones mineras y delimitación del área del proyecto 2.1-1
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO 2.2-2
2.2.1 RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN 2.2-2
2.2.1.1 Aspectos Regionales 2.2-2
2.2.1.2 Geología del Yacimiento 2.2-5
2.2.2 DELIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS A EXPLOTAR 2.2-16
2.2.2.1 Zonas a Explotar, Marginales y No Intervenidas por la Actividad Minera 2.2-16
2.2.2.2 Plan Minero Conceptual a Largo Plazo 2.2-17
2.2.2.3 Reservas Medidas e Indicadas 2.2-20
2.2.2.4 Secuencia de Minado General 2.2-20
2.2.2.5 Programa de Exploración Adicional 2.2-22
2.2.2.6 Plan de Producción 2.2-22
2.2.2.7 Equipo Minero 2.2-23
2.2.2.8 Infraestructura Complementaria 2.2-24
2.2.2.9 Personal 2.2-25
2.2.3 SISTEMAS Y MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN 2.2-28
2.2.3.1 Criterios de Diseño y Geometría de la Explotación 2.2-28
2.2.3.2 Análisis Geotécnico 2.2-29
2.2.3.3 Dimensionamiento y Localización de las Excavaciones 2.2-31
2.2.3.4 Secuencia de la Explotación para los Primeros Cinco Años y Quinquenal 2.2-31
2.2.3.5 Diseño y localización del depósito de estériles 2.2-32
2.2.3.6 Análisis Geotécnico de los Taludes de Corte 2.2-32
2.2.4 ASPECTOS DE MONTAJE 2.2-40
2.2.4.1 Accesos Internos al Área de Interés 2.2-40
2.2.4.2 Instalaciones y labores de Construcción y Montaje 2.2-43
2.2.4.3 Movimientos de Tierra 2.2-44
2.2.4.4 Análisis Geotécnicos 2.2-45
2.2.4.5 Aprovechamiento de los Recursos Naturales Renovables 2.2-45
2.2.4.6 Localización de los Botaderos 2.2-45
2.2.4.7 Plan de Obras y Cronograma de Ejecución 2.2-46
2.2.4.8 Requerimientos de Energía, Combustibles, Materiales de Construcción e Insumos 2.2-46
2.2.5 OPERACIONES MINERAS 2.2-47
2.2.5.1 Sistema de Explotación 2.2-47
2.2.5.2 Descripción de Operaciones Unitarias 2.2-47
2.2.5.3 Manejo y Disposición de Estériles 2.2-48
2.2.5.4 Caracterización y Manejo de los Suelos 2.2-48
2.2.5.5 Fuentes y Requerimientos de Energía y Combustibles 2.2-49
2.2.5.6 Uso, Aprovechamiento y Afectación de Recursos Naturales Renovables 2.2-51
2.2.5.7 Utilización y Manejo de Explosivos 2.2-53
2.2.5.8 Tipo o Clases de Explosivos y Accesorios 2.2-55
2.2.5.9 Diseño de Voladura y Estimación de Vibraciones y Ruido 2.2-55
2.2.5.10 Sistema de Monitoreo Permanente de Vibraciones 2.2-59
2.2.6 BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DE MINERALES 2.2-59
2.2.6.1 Descripción de los Procesos de Beneficio y Transformación 2.2-60
2.2.6.2 Localización de las Instalaciones de Beneficio 2.2-69

2.2.6.3 Equipos, Instalaciones e Insumos 2.2-73
2.2.6.4 Operaciones Unitarias 2.2-75
2.2.6.5 Manejo de Efluentes (Vertimientos) del Proceso y Domésticos 2.2-78
2.2.6.6 Manejo de Colas 2.2-99
2.2.7 PRODUCCIÓN Y COSTOS 2.2-101
2.2.7.1 Costos 2.2-101
2.2.7.2 Producción 2.2-103
2.2.8 GENERACIÓN DE RESIDUOS 2.2-105
2.2.8.1 Residuos Líquidos (RL) 2.2-105
2.2.8.2 Residuos Sólidos (RS) 2.2-110
2.2.8.3 Contaminantes Atmosféricos 2.2-112
2.2.9 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO 2.2-113
2.2.9.1 Organigrama 2.2-114
2.2.9.2 Duración del Proyecto y Cronograma de Actividades 2.2-118
2.2.9.3 Recurso Humano 2.2-118

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1-1 Resumen de las características de los títulos mineros del proyecto Angostura 2.1-1
Tabla 2.1-2 Distribución general del área del proyecto Angostura por infraestructura..... 2.1-2
Tabla 2.2-1 Resumen de principales trabajos exploratorios..... 2.2-6
Tabla 2.2-2 Recursos mineros de oro y plata 2.2-10
Tabla 2.2-3 Zonas hidrogeológicas conceptualizadas..... 2.2-12
Tabla 2.2-4 Área de las canteras de material de préstamo..... 2.2-16
Tabla 2.2-5 Resumen del plan de extracción en la mina..... 2.2-19
Tabla 2.2-6 Reservas minerales 2.2-20
Tabla 2.2-7 Cubicación de materiales por fases de explotación 2.2-22
Tabla 2.2-8 Instalaciones administrativas y laboratorios 2.2-25
Tabla 2.2-9 Resumen de la fuerza laboral proyectada por etapas..... 2.2-27
Tabla 2.2-10 Parámetros geométricos de los bancos del tajo..... 2.2-28
Tabla 2.2-11 Matriz de clasificación de los macizos rocosos 2.2-30
Tabla 2.2-12 Resultados de la optimización al diseño geotécnico del tajo 2.2-30
Tabla 2.2-13 Resumen de alturas máximas de talud para caminos..... 2.2-34
Tabla 2.2-14 Análisis geológico y geotécnico en los patios del proyecto..... 2.2-36
Tabla 2.2-15 Cuadro comparativo ángulos interrampa analizados 2.2-39
Tabla 2.2-16 Resumen de los análisis de estabilidad en el depósito de estériles..... 2.2-40
Tabla 2.2-17 Parámetros de diseño, Vía Berlín – Vetas – Angostura 2.2-42
Tabla 2.2-18 Parámetros de diseño, Vía California – Angostura..... 2.2-43
Tabla 2.2-19 Estimación del movimiento de tierras de plataformas principales..... 2.2-44
Tabla 2.2-20 Volúmenes de movimiento de tierras de principales instalaciones 2.2-45
Tabla 2.2-21 Consumos de concreto y acero de principales instalaciones..... 2.2-47
Tabla 2.2-22 Estimación de consumos anuales de energía por procesos 2.2-50
Tabla 2.2-23 Consumo anual de petróleo de equipos mineros 2.2-51
Tabla 2.2-24 Descripción de suelos presentes en el área de operaciones 2.2-52

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2-1: Columna estratigráfica generalizada 2.2-5
Figura 2.2-2 Dominios estructurales 2.2-8
Figura 2.2-3 Modelo de bloques, sección N-S, 1,130,900 E 2.2-9
Figura 2.2-4 Distribución espacial de las zonas hidrogeológicas 2.2-13
Figura 2.2-5 Distrito minero de Vetas - California 2.2-15
Figura 2.2-6 Ubicación canteras de materiales de préstamo 2.2-16
Figura 2.2-7 Plano de ubicación del proyecto y concesiones mineras 2.2-17
Figura 2.2-8 Envolvente del Tajo Final 2.2-21
Figura 2.2-9 Ubicación de fases de minado dentro del tajo 2.2-22
Figura 2.2-10 Programa anual de Producción Mina 2.2-23
Figura 2.2-11 Esquema geométrico de los bancos 2.2-29
Figura 2.2-12 Modelo geotécnico en 3 dimensiones 2.2-30
Figura 2.2-13 Camino inicial, vista en planta y perspectiva 2.2-33
Figura 2.2-14 Propuesta de cortes y rellenos para caminos (NCL) 2.2-34
Figura 2.2-15 Modelo estructural del tajo en 3 dimensiones 2.2-37
Figura 2.2-16 Dominios estructurales en el área del tajo 2.2-38
Figura 2.2-17 Perfiles seleccionados en el depósito de estériles 2.2-40
Figura 2.2-18 Localización proyecto Angosturas 2.2-41
Figura 2.2-19 Sección transversal de las vías proyectadas 2.2-42
Figura 2.2-20 Ubicación en azul de los depósitos de suelos orgánicos 2.2-48
Figura 2.2-21: Consumo anual de explosivos y accesorios 2.2-54
Figura 2.2-22: Arreglo del almacén de explosivos 2.2-55
Figura 2.2-23: Parámetros de diseño de voladura 2.2-56
Figura 2.2-24: Comparación de las mediciones obtenidas en horario diurno 2.2-57
Figura 2.2-25: Comparación de las mediciones obtenidas en horario nocturno 2.2-58
Figura 2.2-26: Comparación gráfica de los resultados obtenidos en horario diurno 2.2-58
Figura 2.2-27: Comparación gráfica de los resultados obtenidos en horario nocturno 2.2-59
Figura 2.2-28: Fotografía de bandas tubulares (Pipe Conveyors) 2.2-62
Figura 2.2-29: Parámetros de diseño para lixiviación 2.2-62
Figura 2.2-30: Diagrama de flujo del proceso de lixiviación en pilas 2.2-64
Figura 2.2-31: Balance de masa general del proceso de lixiviación en pilas 2.2-64
Figura 2.2-32: Parámetros de diseño para el proceso de flotación 2.2-66
Figura 2.2-33: Diagrama de flujo del proceso de flotación 2.2-67
Figura 2.2-34: Balance de masa general del proceso de flotación 2.2-68
Figura 2.2-35: Parámetros del análisis de estabilidad de los materiales 2.2-71
Figura 2.2-36: Factores de seguridad pilas de lixiviación 2.2-71
Figura 2.2-37: Sección longitudinal de la pila de lixiviación de Angostura 2.2-72
Figura 2.2-38: Sección longitudinal de la pila de lixiviación de Páez 2.2-72
Figura 2.2-39: Lista equipos de la planta de beneficio y transformación de minerales del proyecto Angostura 2.2-73
Figura 2.2-40: Lista de consumibles y otros insumos de la planta de beneficio y transformación de minerales del proyecto Angostura 2.2-75
Figura 2.2-41: Parámetros de diseño de canales – deposito de estériles “Móngora” 2.2-79
Figura 2.2-42: Canales de derivación de aguas superficiales – Deposito de estériles “Móngora”. 2.2-79
Figura 2.2-43: Canales de derivación en el tajo 2.2-80
Figura 2.2-44: Parámetros de diseño de canales y alcantarillas del tajo 2.2-80

Figura 2.2-45: Sistema de drenaje de aguas superficiales de la pila de lixiviación de Angostura . 2.2-81
Figura 2.2-46: Sistema de drenaje de aguas superficiales de la pila de lixiviación de Páez 2.2-81
Figura 2.2-47: Sección transversal típica del canal de derivación y acceso de servicio para ambas Pilas de Lixiviación 2.2-82
Figura 2.2-48: Parámetros de diseño de canales de pilas de lixiviación 2.2-82
Figura 2.2-49: Descripción de los canales de derivación de las pilas de lixiviación 2.2-82
Figura 2.2-50: Situación típica de demanda de agua de las pilas de lixiviación 2.2-85
Figura 2.2-51: Demanda de agua en las pilas de lixiviación, en percentiles 2.2-86
Figura 2.2-52: Máxima descarga de las pilas de lixiviación, en percentiles 2.2-89
Figura 2.2-53: Simulación de demanda total del proyecto Angostura, en percentiles 2.2-90
Figura 2.2-54: Resultados de balance de aguas para temporadas húmedas y secas, en m3/hr .. 2.2-92
Figura 2.2-55: Volumen necesario. Percentiles de no excedencia 2.2-93
Figura 2.2-56: Ubicación de las fuentes de suministro de agua 2.2-95
Figura 2.2-57: Sistema de captación directa de agua (sección típica) 2.2-97
Figura 2.2-58: Plano del sistema de captación a partir de embalses 2.2-98
Figura 2.2-59: Sección típica del sistema de captación del embalse 2.2-99
Figura 2.2-60: Balance de masa del manejo de colas 2.2-100
Figura 2.2-61: Costos de capital del proyecto Angostura 2.2-101
Figura 2.2-62: Costos operativos del proyecto Angostura 2.2-101
Figura 2.2-63: Rubros para cálculo de inversión en preservación del recurso hídrico 2.2-102
Figura 2.2-64: Plan de producción del proyecto Angostura 2.2-104
Figura 2.2-65: Potencial de residuos líquidos de aguas de contacto, en percentiles 2.2-107
Figura 2.2-66: Generación esperada de RSD en el proyecto 2.2-110
Figura 2.2-67: Residuos s*ólidos* industriales estimados de la planta de procesos y de las pilas de lixiviación 2.2-111
Figura 2.2-68: Residuos sólidos industriales estimados del depósito de nitrato y del taller de mantenimiento mina 2.2-112
Figura 2.2-69: Residuos peligrosos provenientes de oficinas, campamento y comedores 2.2-112
Figura 2.2-70: Residuos peligrosos provenientes del taller de mantenimiento mina 2.2-112
Figura 2.2-71: Valores de emisión de material particulado 2.2-113
Figura 2.2-72: Organigrama del proyecto 2.2-115
Figura 2.2-73: Recurso humano mensual para la gestión ambiental 2.2-117
Figura 2.2-74: Recursos financieros asociados al recurso humano para la gestión ambiental 2.2-117
Figura 2.2-75: Fuerza laboral por etapas y nivel de calificación 2.2-119

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACIÓN

2.1.1 Ubicación geográfica

El proyecto Angostura está localizado al noreste de Colombia, en el Departamento de Santander, Provincia de Soto, a unos 370 kilómetros al norte de Bogotá y aproximadamente unos 67 kilómetros al noreste de Bucaramanga, la capital del Departamento. A la zona se llega por una vía (en parte pavimentada) que conduce desde Bucaramanga hasta el Municipio de California, en un viaje de aproximadamente dos horas y media. Desde el casco urbano de California se continúa por la vía que conduce a las veredas La Baja y Angosturas, en un trayecto de aproximadamente media hora. El proyecto Angostura se encuentra dentro de la jurisdicción del Municipio de California y otra parte dentro de la jurisdicción del Municipio de Vetas (ver Mapa Anexo 2-1).

2.1.2 Concesiones mineras y delimitación del área del proyecto

El proyecto Angostura abarca un total de seis títulos mineros entre contratos de concesión minera y licencias de explotación. Si bien el área total otorgada por la autoridad minera comprendida por estos seis títulos mineros es de 14,902.7512 hectáreas, el proyecto Angostura sólo interviene un área de 1,104.19 hectáreas, de las cuales 1,027.13 hectáreas se encuentran distribuidas entre los seis títulos mineros que componen el Proyecto Angostura y las otras 77.06 hectáreas en las zonas donde se deben constituir las correspondientes servidumbres mineras. Es importante mencionar que, a pesar de involucrar títulos mineros en los municipios de: California, Vetas, Suratá, Cucutilla, Pamplona y Mutiscua, el proyecto solamente interviene áreas de dos municipios: California y Vetas.

En la Tabla 2.1-1 se presenta un resumen de las características de los títulos mineros que involucra el proyecto Angostura, incluyendo el área que ocupa el proyecto Angostura dentro de cada título minero.

En la Tabla 2.1-2 se muestra la distribución del área del proyecto discriminada por instalación de infraestructura y en el Mapa Anexo 2-7 se presenta un plano geo-referenciado de las zonas que componen el área final para las actividades de explotación

Tabla 2.1-1 Resumen de las características de los títulos mineros del proyecto Angostura

Título	Modalidad	Área Otorgada (Ha)	Área Proyecto (Ha)	Minerales en concesión	Municipios
3452	Contrato de Concesión Minera	5,244.8584	979.27	Oro, plata, cromo, mineral de zinc, cobre, estaño, mineral de plomo, manganeso, metales preciosos, asociados, demás concesibles	California, Cucutilla, Suratá, Vetas
EJ1-163	Contrato de Concesión Minera	8,424.6597	17.57	Oro, asociados y demás concesibles	Cucutilla, Pamplona y Suratá
22346	Contrato de Concesión Minera	1,184.1166	21.36	Oro, plata y demás concesibles	Mutiscua y Vetas
6979	Contrato de Concesión Minera	40.0000	8.185	Oro	California, Suratá
101-68	Licencia de Explotación	5.6575	0.71	Oro y Plata	California

Título	Modalidad	Área Otorgada (Ha)	Área Proyecto (Ha)	Minerales en concesión	Municipios
127-68	Licencia de Explotación	3.4590	0.04	Oro y Plata	California
Servidumbres mineras			77.06		
Total		14,902.7512	1,104.19		

Tabla 2.1-2 Distribución general del área del proyecto Angostura por infraestructura

Infraestructura del Proyecto	Hectáreas (Ha)
Acceso principal (Berlín-Vetas-Angostura)	14.10
Acceso secundario (La Bodega-Área de triturado)	3.29
Vías de Acarreo	44.23
Canales de derivación del depósito de Estéril	1.86
Canales de derivación del Tajo	0.29
Canal de derivación del área de triturado	0.35
Tajo	218.53
Pila de Lixiviación de Páez	108.98
Pila de Lixiviación de Angostura	148.16
Depósito de Estéril de Móngora	394.76
Zona de triturado y molienda	12.89
Zona Industrial	15.21
Campamento	9.96
Reservorio de Agua El Saldo y Pajarito	11.40
Polvorín	2.40
Depósitos de Suelo orgánico	26.25
Canteras de material de préstamo	91.53
Área total del Proyecto Angostura	1,104.19

En el Mapa Anexo 2-1 se muestran los títulos mineros que comprenden el proyecto Angostura.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

2.2.1 RESULTADOS DE LA EXPLORACIÓN

A continuación se describen los resultados del programa de exploración que Greystar Resources Ltd ha desarrollado desde el año 1995:

2.2.1.1 Aspectos Regionales

2.2.1.1.1 Geología Regional

El proyecto Angostura se localiza en la parte noreste de la Cordillera Oriental; en el Macizo de Santander, dentro del cual se ubica el depósito de Angostura que hace parte del distrito minero de Vetas-California. Siguiendo la nomenclatura definida por Ingeominas en el mapa geológico de

Santander, de la más antigua a la más reciente, las unidades litoestratigráficas que afloran en este sector (ver Mapa Anexo 2-3) son:

Precámbrico:

- Gneiss de Bucaramanga (PEm):

Rocas metamórficas de origen sedimentario, gneiss cuarzo-feldespático, micáceo y hornbléndico, migmatitas, cuarcitas, anfibolitas y granulitos de edad precámbrica.

Mesozoico:

- Cuarzo-Monzonita Gris de la Corcova (Jcg):

Cuarzomonzonita gris, biotítica de grano fino de edad jurásica.

Granodiorita y tonalita de Río Negro y Páramo Rico (Jgd):
Rocas ígneas intrusivas de color gris de composición granodiorítica de edad jurásica.

- Formación Girón (Jg):

Areniscas conglomeráticas y conglomerados gris amarillentos.

- Cretácico Inferior (1Ki):

Secuencia sedimentaria de origen marino compuesta de base a techo por las areniscas cuarzosas de la Formación Tambor, las calizas grises oscuras de la Formación Rosablanca, lutitas negras de la Formación Paja, calizas grises arenosas fosilíferas de la Formación Tablazo y lutitas calcáreas grises oscuras de la Formación Simití.

- Cretácico Superior (1Ks):

Corresponde a una secuencia que hacia la base se compone de lutitas calcáreas duras, caliza arcillosa y chert de la Formación La Luna y hacia el techo de lutitas grises oscuras a verdosas de la Formación Umir.

Cenozoico:

- Depósitos Cuaternarios (Qal):

Corresponde a depósitos sedimentarios de origen fluvio-glaciar, depósitos de terrazas aluviales y coluvio-aluviales y depósitos coluviales conformados principalmente por arenitas y conglomerados intercalados con limos.

A nivel regional, las principales estructuras corresponden al Sistema de fallas de Bucaramanga-Santa Marta que tienen una dirección general al noroeste, el Sistema de Fallas de Suratá y el Sistema de Fallas de Cucutilla con direcciones generales al noreste. A estas dos últimas estructuras se encuentran asociados todos los sistemas de fallas menores presentes en el Distrito Minero de Vetas-California, entre los que se encuentra la Falla de La Baja-Angosturas.

2.2.1.1.2 Geomorfología Regional

En general la geomorfología del distrito minero de Vetas-California está dominada por la interacción entre los procesos de meteorización y erosión (la cual puede variar desde muy ligera a muy severa) y la geología estructural de la zona. Estos procesos han modelado los siguientes tipos de relieves:

- Relieves de origen fluvioglaciar: conformados por campos de morrenas y valles glaciárticos principalmente sobre rocas metamórficas.

- Relieves de origen fluvio-erosional: constituidos por montañas erosionables conformadas principalmente por las rocas metamórficas e ígneas afectadas por erosión laminar.

- Relieves de origen estructural denudativo: constituidos por laderas estructurales formadas en rocas sedimentarias.

En el Mapa Anexo 2-2 se muestra el mapa geomorfológico de la región.

2.2.1.1.3 Hidrología Regional

A nivel regional La principal cuenca del distrito minero de Vetas California la constituye la cuenca del río Vetas, la cual hace parte de la subcuenca del río Suratá y ésta a su vez hace parte de la cuenca del río Lebrija. La precipitación promedio multianual de la cuenca del río Vetas es de 926mm, presentando un comportamiento bimodal. Según los registros de caudales en la cuenca del río Vetas, se estima que el caudal medio de éste es de 2.57m3/s (medido en el puente Pánega), presentando un régimen bimodal, con un periodo húmedo de cinco meses comprendido entre los periodos de abril a junio y de octubre a noviembre, y un periodo seco en los meses restantes del año. El caudal máximo instantáneo registrado en esta cuenca, el cual corresponde al del año 1981 es de 13.76m3/s y el caudal mínimo instantáneo registrado que corresponde al del año 1989 es de 0.4m3/s

2.2.1.1.4 Modelo Hidrológico e Hidrogeológico Regional Integrado

Las investigaciones hidrogeológicas realizadas permiten definir a nivel regional las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Unidad de acuíferos fisurados: Corresponden a las areniscas y calizas fracturadas de las Formaciones Tablazo y Rosablanca del Cretácico inferior. Estos acuíferos reciben recarga por la precipitación.

- Unidad de Depósitos semi-permeables: Corresponden a estratos fisurados con pocos contenidos de aguas subterráneas, que pueden ser semi-confinantes, corresponden a las formaciones Tambor, Girón y a los depósitos de glaciares. Estos se recargan de la precipitación caída sobre sus capas permeables.

- Unidad de estratos y rocas impermeables: corresponden a las capas sedimentarias de grano fino de las formaciones La Luna, Simití, Paja y Silgará y las rocas intrusivas y metamórficas. Estas unidades se caracterizan por no poseer agua. No reciben recarga.

Lo anterior permite definir el siguiente modelo hidrológico e hidrogeológico regional integrado:

- Traslado: El agua en estado de vapor de la atmósfera es condensada y precipitada como lluvia por la acción de los vientos que tienen direcciones predominantes SW-NE, NE-NW y WSW-SW.

- Distribución: Una parte del agua precipitada va a las quebradas y cuerpos de agua de la zona, otra parte cae sobre las rocas impermeables fluyendo como escorrentía superficial, otra parte cae y percola por las capas de las formaciones Tablazo y Rosablanca recargando estos acuíferos; estas aguas a su vez pueden aflorar como flujo base en las corrientes superficiales que drenen dichos acuíferos.

- Regreso: Parte del agua regresa a la atmósfera por evaporación desde la superficie del suelo, por la intercepción de la precipitación causada por las plantas, por la transpiración de las mismas y por acción directa del las actividades antrópicas.

Por otro lado, es de aclarar que dentro del área del proyecto Angostura no afloran las formaciones Tablazo y Rosablanca, por lo que no es probable que las operaciones del proyecto lleguen a afectar los acuíferos que se encuentran en estas rocas. En el Mapa Anexo 2-4 se presenta las unidades hidrogeológicas de la región.

2.2.1.2 Geología del Yacimiento

2.2.1.2.1 Descripción Geológica del Yacimiento

Las rocas más antiguas en el área del yacimiento Angostura son las rocas de la unidad Neis de Bucaramanga, conformadas por orto-neises y para-neises de edad precámbrica. Diferentes eventos de metamorfismo han afectado estas rocas hasta facies esquistos verdes – anfibolita.

Rocas intrusivas afloran en varias localidades, algunas de ellas consideradas parte del Batolito de La Corcova, con edades desde Triásico hasta Jurásico, encontrándose variaciones composicionales como quarzo-monzonitas, granodioritas, tonalitas y granitos. Intrusivos más jóvenes de textura porfirítica afloran en cuerpos muy pequeños que no están cartografiados, y afloran entre California y el proyecto, y se ha determinado su edad aproximada como Terciario, datación U-Pb (8.4 ±0.2 y 9.0 ± 0.2 Millones de años) (Mantilla et al., 2009), y se considera que son la roca fuente de la mineralización de metales preciosos en la zona. En el Mapa Anexo 2-5 se presenta la geología del yacimiento. La Figura 2.2-1 presenta la columna estratigráfica generalizada para el área comprendida entre California y el Proyecto Angostura.

Figura 2.2-1: Columna estratigráfica generalizada

Cretácico: Secuencia de sedimentos marinos transgresivos compuesta por calizas, shales y arenas calcáreas.

Mioceno: Fase de deformación Andina, inversión de la cuenca y cabalgamientos de la secuencia sedimentaria sobre el basamento.

Terciario: Rocas Intrusivas (no aflorantes en el yacimiento), de textura porfirítica.

Precambrico-Paleozoico: Gneiss de Bucaramanga plegado y fallado compuesto por orto-neises y para-neises

Triásico-Cretácico: Rocas intrusivas con composiciones variables.

.

La mineralización de oro y plata ocurre en zonas donde la fuerte alteración hidrotermal afectó tanto los neises como los intrusivos. Los neises parecen ser la principal roca encajante de la mineralización aunque muchas veces la alteración hidrotermal hace difícil diferenciar la roca original entre neis e intrusivo.

Las principales fallas geológicas son la Falla transcurrente lateral derecha, La Baja-Angosturas de dirección NE-SW y la Falla transcurrente lateral derecha Romeral-Cucutilla. Otras fallas distensionales son Páez, Perezosa, El Pozo, El Mortiño y Cristo Rey.

La mineralización está controlada por la geología estructural de la zona, donde las alteraciones hidrotermales más importantes como silicificación, sericitización y argilización ocurren con mayor intensidad junto a las fracturas que han servido como conductos por donde las soluciones hidrotermales conteniendo los metales preciosos, viajaron y precipitaron los metales donde las condiciones físico-químicas de las rocas fueron favorables.

2.2.1.2.2 Descripción de las Labores de Investigación Realizadas

Desde 1,994 Greystar ha desarrollado trabajos exploratorios en el área de California, que le permitieron delinear el yacimiento de oro y plata Angostura. Los trabajos han consistido de mapeo geológico regional y detallado, muestreo de sedimentos de lechos de corrientes de agua, muestreo de suelos, muestreo de roca, perforaciones diamantinas con recuperación de núcleo y construcción de túneles exploratorios. La Tabla 2.2-1 muestra un resumen de la cantidad de trabajos exploratorios que han permitido delinear el yacimiento.

Tabla 2.2-1 Resumen de principales trabajos exploratorios

Muestras Superficie	Perforaciones Diamantinas de Superficie		Perforaciones Diamantinas desde Túneles		Apertura de Túneles	
Cantidad	Cantidad	Metros	Cantidad	Metros	Metros	Cantidad de Muestras
3,276	713	243,038	157	20,057	3,145	4,615

A continuación se hace una descripción general de las diferentes actividades de exploración:

Muestreo de Sedimentos

Consiste en la recolección de sedimentos de los lechos de las corrientes de agua de un área con el fin de realizar análisis químicos que permitan determinar la presencia de elementos que puedan ser indicio de mineralización en la cuenca de la cual provienen los sedimentos transportados.

Muestreo de Suelos

Consiste en la recolección de muestras de los suelos que cubren el área, con el fin de definir mejor el área con potencial, de acuerdo a los contenidos de elementos que indiquen la presencia de mineralización en el subsuelo.

Muestreo de Roca

Recolección de muestras de esquirlas de roca a partir de afloramientos en el yacimiento con el fin de definir mediante análisis químicos los contenidos de oro y plata.

Perforación Diamantina con Recuperación de Núcleo

Obtención de núcleo cilíndrico de roca para muestreo y análisis químico con el fin de definir los contenidos de oro, plata y otros elementos. También permite verificar la continuidad de la mineralización en profundidad y la generación del modelo geológico tridimensional del yacimiento. Esta perforación se realiza desde superficie y desde los túneles exploratorios..

Apertura de Túneles Exploratorios

La construcción de túneles consiste en abrir galerías para acceder al yacimiento a mayor profundidad, con el fin de hacer reconocimiento de la geología del yacimiento, realizar nuevos muestreos de roca para análisis químico y pruebas metalúrgicas, y para perforar desde cámaras especiales para obtener muestras de núcleo de zonas hasta donde no se puede acceder con la perforación desde superficie. La Figura 2.2-2 muestra el trazo en planta de los túneles exploratorios, Perezosa 2 y Veta de Barro.

Las muestras recolectadas en las diferentes actividades exploratorias son preparadas, marcadas, referenciadas adecuadamente y enviadas a laboratorios certificados en Canadá, donde se realizan análisis químicos por absorción atómica y ensayos al fuego, con el fin de determinar los contenidos de oro, plata y otros elementos. Todos los procedimientos aplicados cumplen con los estándares de calidad exigidos para la industria minera internacional.

2.2.1.2.3 Geometría, Ubicación y Mineralogía del Yacimiento

El yacimiento de de oro y plata Angostura está localizado en la vereda Angosturas del municipio de California, y cubre una extensión de cerca de 2 kilómetros de longitud en la dirección Noreste y 1 kilometro de ancho. Los resultados exploratorios han indicado que el depósito está limitado al Noroeste por la falla Angosturas y hacia el Suroeste por la Falla Móngora.

Hacia el sur la mineralización continua a través de la quebrada Páez, sin embargo el tajo no se extiende más allá de ella por encontrarse una topografía de pendiente muy fuerte. Hacia el norte el depósito se limita por la falla Cristo Rey. En profundidad no ha sido definido un límite de mineralización, ya que las perforaciones indican que las estructuras mineralizadas continúan.

Algunas estructuras mineralizadas aisladas pueden encontrarse más allá de los límites mencionados, sin embargo han demostrado no ser explotables por método a cielo abierto; sin embargo puede haber un potencial para explotación subterránea, en la medida que los precios de los metales aumenten.

La mineralización es fuertemente controlada por la geología estructural y se presenta como enjambres de vetillas, venas y bandas mineralizadas que siguen un tren estructural y con buzamientos predominantemente hacia el norte. De acuerdo a estos trenes estructurales el yacimiento se dividió en diferentes “dominios estructurales”, es así que tenemos: Tren Noreste Silencio – Los Laches, tren Este-Oeste área Central, tren Noreste de la Falla La Perezosa, Tren Este-Oeste de Veta de Barro y un área menor al norte de Cristo Rey con un tren Noreste. La Figura 2.2-2 muestra los dominios estructurales en el yacimiento.

Figura 2.2-2 Dominios estructurales

Mineralogía

El oro y la plata se encuentran asociados principalmente a la pirita (sulfuro de hierro), de la cual se han identificado al menos dos etapas de formación, una de pirita muy fina con fuerte asociación con el oro y otra de cristales más gruesos con menor importancia para el oro. Otros minerales sulfuros asociados son la calcopirita, tetraedrita, digenita, y en menor proporción bornita, marcasita, enargita, calcosina, bismutinita, tennantita y esfalerita; así como algunos óxidos como la limonita (hidróxido) principalmente, y la hematita, magnetita e ilmenita.

El oro y la plata se presentan como electrum de grano muy fino, así como en teluros de oro y plata ocluidos en la pirita (Thompson, 2005). El tamaño del oro varía entre 5 micras y 50 micras. Debido a este carácter muy fino y a la ocurrencia en teluros, puede explicarse la naturaleza parcialmente refractaria de la mineralización.

2.2.1.2.4 Reservas

El modelo geológico del yacimiento comprende múltiples estructuras mineralizadas las cuales fueron modeladas con el uso del software "Datamine Studio 3", con el cual se realizó la interpretación geológica del yacimiento por secciones verticales y horizontales, utilizando la información geológica y de contenidos de oro y plata de las perforaciones diamantinas, así como de los muestreos de superficie y túneles exploratorios. La Figura 2.2-3 muestra una sección vertical del yacimiento y la apariencia de las estructuras mineralizadas en el modelo de bloques.

Para la estimación de los recursos mineros del yacimiento se utilizaron bloques de dimensiones 6.25 m X 6.25 m X 6.25 m, a los cuales se asignaron los valores de oro, plata, cobre y azufre mediante el uso de métodos geo-estadísticos de interpolación, y con el uso de la herramienta de estimación del software "Datamine Studio 3". La Figura 2.2-3 presenta la sección vertical del modelo de bloques del yacimiento y los valores de oro en los bloques.

Figura 2.2-3 Modelo de bloques, sección N-S, 1,130,900 E

La clasificación de los recursos mineros de oro y plata cumple las siguientes definiciones:

Recursos Medidos
Aquella parte del recurso mineral cuya cantidad, tenor o calidad, densidad, forma y características físicas están tan bien establecidos que ellos pueden ser estimados con la seguridad suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos para soportar una planeación minera y la evaluación de la viabilidad económica de un depósito.

Recursos Indicados
Aquella parte del recurso mineral cuya cantidad, tenor o calidad, densidad, forma y características físicas pueden ser estimados con el nivel de seguridad suficiente para permitir la aplicación

apropiada de parámetros técnicos y económicos para soportar una planeación minera y la evaluación de la viabilidad económica de un depósito.

Recursos Inferidos
Aquella parte del recurso mineral cuya cantidad y tenor o calidad puede ser estimada sobre la base de evidencia geológica y un limitado muestreo y se asume razonablemente, pero no se ha verificado, que exista una continuidad geológica y de tenor.

Con base en las anteriores definiciones la Tabla 2.2-2 presenta los recursos mineros del yacimiento, separando el mineral oxidado que está por encima del nivel máximo de oxidación, de aquel que se encuentra debajo del mismo, llamado mineral de sulfuros.

Tabla 2.2-2 Recursos mineros de oro y plata

		Recursos Mineros Medidos				Recursos Mineros Indicados			
	Tenor de Corte (g/t)	Toneladas (x1,000)	Tenor de Oro (g/t*)	Onzas Troy** de Oro (x1,000)	Tenor de Plata (g/t)	Toneladas (x1,000)	Tenor de Oro (g/t*)	Onzas Troy de Oro (x1,000)	Tenor de Plata (g/t)
Óxidos	0.3	49,620	0.63	1,007	5	37,246	1.05	1,258	7
Sulfuros	0.45	99,280	0.86	2,729	4	144,760	1.41	6,555	7
TOTAL		148,900	0.78	3,736	4	182,006	1.34	7,813	7

		Recursos Mineros Inferidos			
	Tenor de Corte (g/t)	Toneladas (x1,000)	Tenor de Oro (g/t)	Onzas Troy de Oro (x1,000)	Tenor de Plata (g/t)
Óxidos	0.3	6,241	1.33	266	9
Sulfuros	0.45	84,539	1.18	3,205	6
TOTAL		90,779	1.19	3,472	6

(*) g/t: tenor en gramos de metal por tonelada métrica.
(**) Onza Troy: 1 Onza Troy equivale a 31.10348 gramos.

2.2.1.2.5 Modelo Hidrogeológico del Área del Proyecto

Las unidades de roca en el área del proyecto tienen las siguientes características hidrogeológicas:

Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas:

- Gneiss de Bucaramanga:

Las rocas metamórficas de esta unidad cubren la mayor parte del área circundante al proyecto, y se encuentran afectadas por fallas longitudinales y transversales, y puede contener alta densidad de fracturas, conformando “Zonas Acuíferas” de extensión local. Los gneisses son principalmente hormbélndico-biotíticos, masivos y la mayor parte del drenaje se encuentra controlado por el fracturamiento. Estas “Zonas Acuíferas” se caracterizan por ser de tipo confinado, debido al fracturamiento profundo cubierto por niveles masivos impermeables. De esta unidad forma parte el Orto-gneiss de Berlín.

A partir de pozos piezométricos construidos se pudieron observar algunos lugares en la parte alta de la quebrada Páez, donde existe una zona acuífera confinada, de alta presión, asociada a la falla de Páez originada por flujos subterráneos regionales, donde el nivel piezométrico alcanza los 21

metros de altura sobre la superficie del terreno. Zonas similares se encuentran a lo largo de la quebrada Romeral hacia el Departamento de Norte de Santander, asociadas a la falla de Romeral.

- Intrusivos Triásicos y Jurásicos (Jcs):

Estas rocas ígneas intruyen a las rocas de la unidad gneiss de Bucaramanga. Sus características hidrogeológicas se determinan con base en el fracturamiento principal ocasionado por las fallas Angosturas, El Pozo, y Móngora, así como de otras fallas menores, que controlan los cauces de las respectivas corrientes superficiales.

Un piezómetro instalado cerca al trazo de la Falla Móngora, con una profundidad de 62.7 metros, mantiene un nivel piezométrico profundo, de 24.78 metros. A partir de pruebas se determinó que esta "Zona Acuífera" es de tipo confinado, igualmente recargado por flujos regionales, observándose los mayores valores de Transmisividad (6.0 m2/día) y Conductividad Hidráulica Real (0.28 m/día) del área.

Sobre la Falla Páez, que controla el cauce de la quebrada Páez, un pozo exploratorio de 203.7 m de profundidad con inclinación de 45° grados con respecto a la horizontal, produce agua termal con temperatura de 32.4 °C y un PH de 6.4. Esta situación evidencia la existencia de una red de fracturas profundad en varias direcciones que podrían interceptar fracturas verticales por donde ascienden los fluidos.

Sedimentos con Flujo Esencialmente Intergranular:

- Depósitos Glaciares:

Las áreas de depósitos de este tipo son locales y se caracterizan por ser de poca extensión a lo largo de depresiones y flancos de los valles. Se caracterizan por presentar espesores variables que dependen de la profundidad de los valles, alcanzando hasta los 10 m. Estos depósitos están constituidos por cantos y bloques angulares a sub-redondeados, principalmente de rocas ígneas y metamórficas, en una matriz de limo y arena, con pendientes bajas suavemente onduladas.

Esta unidad acuífera se puede considerar de extensión regional, siendo de tipo libre, recargado principalmente por agua de lluvia. La circulación de aguas subterráneas en este acuífero cuaternario corresponde a un régimen freático que se desarrolla a través de horizontes permeables heterogéneos en granulometría, conformando diferentes niveles. En el área no se explota, por lo que se desconocen sus parámetros hidráulicos.

Modelo Hidrogeológico Conceptual

Teniendo en cuenta que los pozos asociados a zonas de falla presentan valores relativamente altos en el cálculo de los parámetros hidráulicos, se definen para las zonas por donde pasan las principales fallas como la falla Romeral, falla quebrada Páez y falla Baja-Angosturas, zonas hidrogeológicas del modelo con valores altos de parámetros hidráulicos.

La Tabla 2.2-3 presenta el resumen los parámetros hidráulicos utilizados para las diferentes unidades hidrogeológicas con su respectiva zona hidrogeológica y la Figura 2.2-4 muestra la distribución espacial de las zonas en mención.

Tabla 2.2-3 Zonas hidrogeológicas conceptualizadas

Capa Geológica	Capa Hidrogeológica	Zona		K equiv (*) (m/d)	Ss equiv(**) (1/m)	Eff Por(***)	Tot Por(****)
Gneiss de Bucaramanga. (PEbm)	Sistema Acuífero Neis de Bucaramanga. (PEbm)	Z 1		1.26E-03	2.80E-06	5.00E-04	1.00E-04
Zona de Falla El Romeral		Z 2		6.23E-03	1.08E-05	0.02	1.50
Zona de Falla Q. Páez		Z 3		0.01	1.50E-06	0.02	1.50
Zonas de Falla Intrusivos		Z 4		0.10	4.70E-07	5.00E-04	1.00E-04
Intrusivo Jurásico. (Jcs)	Sistema Acuífero Intrusivos (Jcs)	Z 5		1.20E-06	2.80E-08	5.00E-04	1.00E-04
Jurásico. Batolito de Rionegro-Páramo Rico. (Jgd)	Jurásico. Batolito de Rionegro-Parámo Rico. (Jgd)	Z 6		1.20E-05	2.80E-08	5.00E-04	1.00E-04
Precámbrico. Ortoneis de Berlín (PEpa)	Precámbrico. Ortoneis de Berlín (PEpa)	Z 7		2.10E-06	5.40E-08	5.00E-04	1.00E-04
Cuaternario. Depósito Glaciar. (Qgl)	Cuaternario. Depósito Glaciar. (Qgl)	Z 8		0.21	5.00E-03	13.00	20.00

(*) K equiv.: Conductividad Hidráulica Equivalente
(**) Ss equiv: Coeficiente de Almacenamiento Equivalente
(***) Eff Por .: Porosidad Efectiva
(****) Tot Por .: Porosidad Total

Figura 2.2-4 Distribución espacial de las zonas hidrogeológicas

El capítulo 3.2.6 de línea base ambiental, contiene información complementaria acerca del modelo hidrogeológico regional y local.

2.2.1.2.6 Amenazas

Geológicas

La clasificación de amenazas en el área del tajo está enfocada principalmente en la geología, correlacionando elementos como morfometría, geomorfología, litología, grado de pendiente, forma de las pendientes, relieve interno, densidad de drenaje, intensidad de erosión, uso del suelo y clima.

En algunos sectores los procesos erosivos son intensos y combinados con las características de la roca aflorante, el grado de meteorización y un alto grado de pendiente, se ha identificado que existe la probabilidad de ocurrencia de fenómenos de remoción en masa. A continuación se describen las categorías de amenazas naturales determinadas:

- Amenaza Alta:

En ésta categoría se incluyen las zonas donde se han presentado deslizamientos o derrumbes recientes de baja magnitud y los taludes no han recuperado completamente su estabilidad. Estás características se han observado principalmente en el área de La Perezosa, donde por un incremento de la pluviosidad durante la época de invierno se genera un grado de inestabilidad estacional.

- Amenaza Moderada:

En esta clasificación se encuentran incluidas las áreas afectadas por procesos erosivos moderados y suelos saturados. Los anteriores fenómenos se observan en las vías del proyecto.

- Amenaza Baja:

Zonas con procesos erosivos ligeros, donde pueden ocurrir movimientos de remoción lentos, como la reptación.

Sísmica

En el proyecto Angostura se desarrolló el estudio de amenaza sísmica, el cual se basó en datos obtenidos de la literatura técnica, bases de datos sísmicos, informes, documentos y código sísmico de Colombia.

Los resultados de dicho estudio arrojaron que el área del proyecto se encuentra clasificada entre moderada y alta. Para efectos de diseño, se adoptó el coeficiente sísmico de diseño (pico de aceleración del suelo) igual a 0,25 g.

2.2.1.2.7 Áreas Mineras Aledañas y su Influencia

Aguas abajo del proyecto Angostura, a lo largo de la quebrada La Baja, se encuentra la mayor parte de la pequeña y mediana minería que se desarrolla en el municipio de California, siendo La mina La Bodega la que tiene la mayor producción de oro en la zona.

La mina La Bodega se encuentra colindante al Suroeste con el área de explotación del proyecto Angostura. A partir de 2006 CVS explorations ltda, subsidiaria de Ventana Gold Corporation, adquirió derechos para realizar exploración en los títulos de la Sociedad Minera La Bodega, y durante las investigaciones han encontrado importantes recursos de oro y plata en el sector denominado La Mascota, que permitirían desarrollar una operación subterránea a gran escala, por lo cual ha merecido un importante reconocimiento a nivel mundial.

Entre otros sectores mineros se encuentran el Cuatro, Las Mercedes, La Baja, Pie de Gallo y La Plata. La Figura 2.2-5 presenta los títulos mineros entre la población de California y el proyecto Angostura, así como el nombre de algunas áreas donde se presentan actividades mineras a pequeña escala y que continuarían su producción en el futuro, sin que la explotación del proyecto Angostura interfiera en ello.

Por otra parte, Greystar posee títulos mineros alrededor del proyecto minero (ver Figura 2.2-5) en los cuales se están realizando investigaciones exploratorias para definir posibles nuevos prospectos mineros.

Figura 2.2-5 Distrito minero de Vetas - California

2.2.1.2.8 Zonas de Material de Préstamo

Los materiales de préstamo requeridos para la etapa de construcción de las pilas de lixiviación deben ser extraídos de zonas aledañas a la infraestructura minera. Varias áreas fueron investigadas mediante muestreo de suelos que permitieron definir la calidad y cantidad. Suelos de baja permeabilidad y fuentes de relleno estructural fueron encontrados en las áreas de Animas, la Argelia, El Alto 1, El Alto 2 y San Cristobal, Erika, La Casita, Angosturas y Margareth, cuyas ubicaciones se observan Figura 2.2-6. Las áreas de canteras cubren un total 91.52 hectáreas, como se puede observar en el detalle de la Tabla 2.2-4.

Figura 2.2-6 Ubicación canteras de materiales de préstamo

Tabla 2.2-4 Área de las canteras de material de préstamo

Cantera	Área, Ha	Área, m2
La Argelia	11.02	110,245.02
Las Ánimas	4.05	40,454.84
San Cristóbal	42.77	427,714.00
Erika	4.70	47,006.85
El Alto_2	4.21	42,112.75
El Alto_1	4.59	45,881.83
La Casita	5.27	52,727.53
Margareth	9.31	93,091.90
Angostura	5.60	56,007.78
Área Total	91.52	915,242.49

2.2.2 DELIMITACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS ZONAS A EXPLOTAR

2.2.2.1 Zonas a Explotar, Marginales y No Intervenidas por la Actividad Minera

En la Figura 2.2-7 se muestra la ubicación geográfica de las zonas a intervenir para ser usadas por las diferentes instalaciones e infraestructuras propias de la actividad minera (delimitadas con contornos de colores purpura y rojo), y las vías de acarreo mineras (en color anaranjado).

Asimismo se muestra la ubicación de dichas zonas dentro del área de las concesiones mineras de Greystar y también en relación a las concesiones mineras de otras empresas (en fondo verde oscuro y rosado respectivamente). En total las concesiones mineras de Greystar cubren 14,500 hectáreas, los predios cubren 3,500 hectáreas y las áreas intervenidas por la actividad minera se proyectan en 1,104.19 hectáreas.

Figura 2.2-7 Plano de ubicación del proyecto y concesiones mineras

2.2.2.2 Plan Minero Conceptual a Largo Plazo

Para el proyecto Angostura se ha definido un sistema de explotación a cielo abierto en el que se explotará un único tajo por un tiempo de 15 años, a una tasa máxima de mineral a procesos de 70,000 toneladas por día para el proceso de lixiviación en pilas y de 5,200 toneladas por día para el proceso de flotación. Para el proceso de lixiviación se construirán dos pilas ubicadas en los sectores de Angostura y Páez. La pila de lixiviación de Angostura comenzará su funcionamiento a partir del año 2012 (año 3) y albergará un total de 238 millones de toneladas, mientras que la pila de lixiviación de Páez comenzará su funcionamiento a partir del año 2022 (año 13).

En el año 2010 (año 1 en la Tabla 2.2-5 y en la Tabla Anexa 2-1) se iniciará la etapa de construcción y montaje, con una duración dos años. El proceso de lixiviación en pilas se iniciará en el año 2012 (año 3 en la Tabla 2.2-5 y en la Tabla Anexa 2-1), cuando entre en funcionamiento la pila de lixiviación de Angostura, la cual albergará un total de 238 millones de toneladas, mientras que la pila de lixiviación de Páez comenzará su funcionamiento a partir del año 2022 (año 13 en la Tabla 2.2-5 y en la Tabla Anexa 2-1).

El programa de producción de mineral y movimiento de estériles define cómo será explotado el mineral contenido en las fases de explotación. Las principales bases y criterios para confeccionar el programa de extracción de la mina se indican a continuación:

- Discriminación entre mineral y lastre: por valor económico
- Tasa de mineral a proceso:
  - A Lixiviación en Pilas máximo de 70,000 t/d
  - A Flotación: máximo 5,200 t/d
  - Tasa de remoción Mina: 250,000 t/d
  - Tiempo programado Mina: 358 días/año
  - Tiempo programado Planta: 365 días/año
  - Sistema de trabajo Mina: jornada continua
  - Sistema de turnos Mina: 2 turnos/día de 12 horas

En total en los 15 años de vida del proyecto, se estima que se extraerán aproximadamente 330.6 millones de toneladas de mineral y 744.8 millones de toneladas de estéril. En la Tabla 2.2-5 se presenta un resumen del plan de extracción del tajo, y en la Tabla Anexa 2-1 se presenta el programa detallado de extracción de la mina.

Tabla 2.2-5 Resumen del plan de extracción en la mina

Año de operación		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total
días/Año de operación		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	
Mineral a Lixiviación en pilas	kt	1,031	1,762	11,581	24,593	25,550	25,550	25,508	25,040	25,255	24,913	25,004	25,162	23,668	19,519	17,164	6,685	307,986
	Au (gr/t)	0.57	0.5	0.53	0.55	0.61	0.64	0.57	0.61	0.59	0.58	0.55	0.58	0.61	0.65	0.67	0.82	0.6
	Ag (gr/t)	3.6	5.34	4.74	3.81	4.77	5.54	4.99	4.95	3.55	2.97	2.76	3.9	4.81	4.23	3.22	3.28	4.16
Mineral a Flotación	kt	18	13	129	537	812	1,321	1,502	1,970	1,755	2,097	2,006	1,848	2,141	2,296	2,881	1,260	22,587
	Au (gr/t)	9.04	4.87	5.9	8.31	6.26	5.44	5.57	5.56	5.53	6.03	4.29	4.35	4.74	4.76	4.46	4.2	5.1
	Ag (gr/t)	30.7	25.11	36.94	24.83	36.95	31.05	36.01	29.74	21.01	21.19	17.55	15.54	15.03	17.87	16.09	12.82	21.41
Lixiviación en pilas+ Flotación	kt	1,049	1,776	11,710	25,130	26,362	26,871	27,010	27,010	27,010	27,010	27,010	27,010	25,809	21,816	20,045	7,945	330,573
	Au (gr/t)	0.72	0.53	0.58	0.72	0.79	0.87	0.85	0.97	0.91	1	0.83	0.84	0.95	1.09	1.22	1.35	0.91
	Ag (gr/t)	4.06	5.49	5.09	4.25	5.76	6.79	6.72	6.76	4.69	4.39	3.86	4.7	5.66	5.67	5.07	4.79	5.34
Estéril	kt	2,719	8,562	33,550	65,390	64,130	63,494	63,499	62,849	61,545	60,118	53,288	48,995	46,826	48,760	48,575	12,502	744,801
Gran Total	kt	3,768	10,338	45,260	90,520	90,492	90,365	90,509	89,859	88,555	87,128	80,298	76,005	72,635	70,576	68,620	20,446	1,075,374

2.2.2.3 Reservas Medidas e Indicadas

Las reservas minerales del tajo se calcularon con un precio de oro de $650/oz y de plata de $9/oz. Este inventario es el que soporta el plan de mina descrito más adelante. En la Tabla 2.2-6 se muestran las reservas minerales probadas y probables clasificadas por proceso metalúrgico y calculadas según el estándar NI43-101, el cual a su vez, se basa en las definiciones y estándares de clasificación de Recursos y Reservas Minerales del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo, el cual estipula en uno de sus estándares mas resaltante, que el mineral explotable clasificado como reserva, debe estar contenido solo dentro de los recursos medidos e indicados.

Las reservas de mineral corresponden al 94.5 % del inventario total de mineral usado en el plan de mina. Los recursos inferidos incorporadas al plan de mina, hacen la diferencia de 5.5%.

Tabla 2.2-6 Reservas minerales

Proceso / Categoria		Probado	Probable	Total
Lixiviacion	kt	174,923	118,563	293,486
	Au (g/t)	0.5	0.7	0.6
	Ag (g/t)	3.0	5.0	4.0
	Au (koz)	2,912	2,551	5,463
	Ag (koz)	19,289	18,783	38,071
Flotacion	kt	4,317	14,554	18,871
	Au (g/t)	4.9	5.2	5.1
	Ag (g/t)	13	23	20.9
	Au (koz)	676	2,448	3,123
	Ag (koz)	1,820	10,836	12,656
Total	kt	179,240	133,117	312,357
	Au (g/t)	0.6	1.2	0.9
	Ag (g/t)	4.0	7.0	5.1
	Au (koz)	3,588	4,998	8,586
	Ag (koz)	21,109	29,618	50,727

2.2.2.4 Secuencia de Minado General

Con el uso del software de planificación estratégica “Whittle 4X” se obtiene y analiza la extensión de la explotación para una serie creciente de precios del Oro y la Plata. La información de entrada para el software es la siguiente: topografía inicial, modelo de recursos minerales, recuperación metalúrgica, ángulos de taludes de las paredes del tajo, proyecciones de precio de los productos y estimaciones de costos de los procesos mineros, metalúrgicos y administrativos.

Se obtienen diferentes alcances geográficos de explotación (tajos o envolventes) asociados a los precios del Oro y la Plata, los cuales contienen información de los tonelajes y leyes de los materiales contenidos e indicadores referenciales del valor económico de cada envolvente. El tajo final será aquella envolvente resultante de usar el precio base del Oro y la Plata definidos para el proyecto (ver Figura 2.2-8).

Una restricción particular asumida para la generación de la envolvente del tajo fue establecer un límite de protección al suroeste del yacimiento para evitar el crecimiento del tajo hacia los cursos de agua de las quebradas Angosturas y Páez.

Una vez definido el tajo final, se generaron las fases de minado en base a las envolventes intermedias del tajo final obtenidas al variar el precio del Oro a un valor menor al precio final definido para el proyecto, de manera que las envolventes generadas se ubiquen en las zonas más ricas de mineral. Por lo tanto, las primeras fases de minado serán las más rentables y las ultimas las menos rentables, y establecen la secuencia de minado o, en otras palabras, la estrategia de minado de las reservas minerales contenidas en el tajo final. Los recursos medidos e indicados contenidos en las fases, que aportan beneficio en el escenario técnico económico definido para el proyecto, serán las reservas.

Se diseñaron un total de 4 fases principales más una inicial pequeña denominada Fase 0. La Fase 0 fue diseñada con el propósito de crear una plataforma adecuada para ubicar la planta de trituración primaria y acopios temporales de mineral extraído de la mina.

Los diseños de fases incorporan las recomendaciones geotécnicas para asegurar la estabilidad de los taludes y de los espacios operacionales requeridos por las actividades mineras. Estos espacios operacionales consideran palas hidráulicas y camiones mineros de alto tonelaje.

Figura 2.2-8 Envolvente del Tajo Final

En la Tabla 2.2-7 se presentan los materiales cubicados a ser minados en cada fase de explotación. El mineral está clasificado según el proceso metalúrgico al que será enviado, y en la Figura 2.2-9 se muestra la ubicación de las fases dentro del tajo final. En el Mapa Anexo 2-8 al Mapa Anexo 2-13 se muestran los diseños de las cinco fases de minado, incluyendo la fase 0

Tabla 2.2-7 Cubicación de materiales por fases de explotación

Fase	Mineral a Lixiviación				Mineral a Flotación				Total Mineral				Estéril	Total	Relación Estéril / Mineral
	kt	Au (g/t)	Ag (g/t)	Koz insitu Au	kt	Au (g/t)	Ag (g/t)	Koz insitu Au	kt	Au (g/t)	Ag (g/t)	Koz insitu Au	Kt	Kt	
Fase 1	1,388	0.55	3.50	25	23	7.71	25.26	6	1,411	0.67	3.86	30	4,117	5,528	2.92
Fase 2	72,829	0.65	5.03	1,51	1,898	5.73	14.46	350	74,727	0.78	5.27	1,864	57,722	132,449	0.77
Fase 3	109,29	0.57	3.71	2,02	6,566	5.26	16.78	1,111	115,85	0.84	4.45	3,127	213,489	329,34	1.84
Fase 4	73,864	0.59	3.83	1,41	8,332	4.95	19.79	1,326	82,196	1.04	5.45	2,738	258,551	340,747	3.15
Fase 5	50,62	0.60	4.38	970	5,768	4.93	31.31	914	56,388	1.04	7.13	1,884	210,922	267,31	3.74
Total	307,99	0.60	4.16	5,94	22,588	5.10	21.41	3,706	330,57	0.91	5.34	9,643	744,801	1,075,374	2.2

Figura 2.2-9 Ubicación de fases de minado dentro del tajo

2.2.2.5 Programa de Exploración Adicional

En el área del tajo se ha demostrado que las estructuras mineralizadas se extienden en profundidad más allá del fondo del mismo, por lo que hay un potencial para explotación subterránea que requiere de exploración con perforación diamantina con un detalle importante para definir su potencial. El trabajo de perforación adicional en el corto y mediano plazo consistirá de la ejecución estas labores que permitan arrojar información del potencial para explotación subterránea, y permitirá también tomar decisiones sobre la necesidad de efectuar mayor investigación, o si por el contrario debe abandonarse la exploración.

Greystar posee áreas en exploración alrededor del proyecto minero que deben continuar en investigación mediante muestreos de sedimentos, suelos, roca y si se encuentra un área con potencial importante, realizar perforaciones diamantinas con recuperación de núcleo para delinear un posible nuevo yacimiento minero.

2.2.2.6 Plan de Producción

Los criterios principales que se consideraron en la elaboración del programa de producción de la mina fueron los siguientes:

- Respetar el orden de precedencia de las fases. Este orden establece excavar primero aquellas fases que generan mayor rentabilidad por tener mayor ley de cabeza.
- Lograr las tasas de mineral a los procesos establecidos en el plan de producción.
- Respetar las consideraciones y restricciones técnico-operacionales. Hacer consistente el diseño de la mina con las especificaciones de trabajo de los equipos. Esto permite estimar productividades y tasas de remoción factibles de realizar.
- Asegurar la continuidad de mineral a proceso en cantidad y calidad programada. Mediante un adecuado equilibrio entre la tasa de extracción de mineral y estéril, de manera de tener siempre suficiente mineral expuesto para alimentar a la planta.

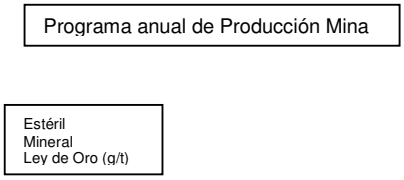
Se han establecido las siguientes definiciones respecto al itinerario del Plan Minero:

- Año 1: Remoción Fase 0 - Construcción plataforma para planta de trituración.
- Año 2: Preproducción Fase 1 - Construcción y montaje planta de trituración.
- Año 3: Inicio proceso de Lixiviación
- Año 5: Inicio proceso Molienda y Flotación

En la Tabla Anexa 2-1 se muestra el programa detallado de producción de la mina que incluye el tonelaje extraído de mineral y estéril, y en la Figura 2.2-10 se muestra la variación de la producción a lo largo de la vida de la mina; El concepto de extracción mina se aplica al material removido de su ubicación in-situ en el banco y enviado a algún destino; esto es al depósito de material estéril, o a la trituradora primaria, o acopios temporales si es mineral. El envío a acopios ocurre cuando aún no operan los procesos metalúrgicos (etapa de preproducción) o se excede la tasa de procesamiento.

Existe un incremento gradual de la extracción durante los primeros tres años, hasta alcanzar un máximo de 90 Millones de toneladas (Mt) a partir del año 4. Entre los años 11 y 15 se produce una caída sostenida del movimiento total que va desde 80 Mt a 68 Mt, reduciéndose el último año a 20 Mt.

Figura 2.2-10 Programa anual de Producción Mina



2.2.2.7 Equipo Minero

Para la selección de los equipos de minado y cálculo de las flotas se utilizaron los siguientes criterios:

- Equipos diesel y adaptados para operar eficientemente a 3,500 m de altura.

- Equipos de alta productividad pero selectivos para remover el mineral de alta ley.
- En la etapa de pre-producción (año 1) se trabajará con contratistas.
- Pre-producción y producción (año 2) y en adelante se trabajará con equipos propios.
- Programación del trabajo:
  - Tiempo programado mina: 358 días/año en jornada continua
  - Sistema de turnos: 4 grupos de trabajo
  - Jornadas de trabajo: 2 turnos diarios de 12 horas

Con base en los criterios anteriores, los equipos seleccionados fueron los siguientes:

2.2.2.7.1 Perforación

Equipos autónomos de perforación rotativa, montados sobre orugas, y con fuerza de empuje de 45,000 libras.

2.2.2.7.2 Carguío

Palas hidráulicas de 29 yd^3 y cargadores frontales de 23 yd^3, ambos equipos tienen el alcance adecuado para cargar camiones de 185 t de capacidad. Las palas alcanzarán productividades del orden de 46,000 t/día y los cargadores frontales de 24,000 t/día.

2.2.2.7.3 Transporte

Camiones mineros de 185 t.

2.2.2.7.4 Equipos de apoyo

Los equipos de apoyo son los habitualmente usados en los tajos de explotación y en cantidad adecuada para prestar un efectivo soporte al minado. Se describen a continuación:

- Tractor de Orugas de 550 HP
- Tractor de Ruedas de 500 HP
- Moto-niveladoras de 280 HP
- Camiones para riego de caminos con tanque de 20,000 galones
- Retroexcavadora de 1 m3 de capacidad de balde

En la Tabla Anexa 2-2 se detalla el requerimiento y las flotas de los equipos principales para la mina.

2.2.2.8 Infraestructura Complementaria

A continuación se describen los componentes principales de la infraestructura de soporte minero:

2.2.2.8.1 Suministro de Energía

Se construirá una nueva línea eléctrica de 230. Kv conectada a la subestación “Los Palos” de la ciudad de Bucaramanga, la cual alimentará al proyecto Angostura, la cual tendrá una potencia instalada de 51 Mw. Esta infraestructura es objeto de un proceso de licenciamiento ambiental diferente al del proyecto Angostura.

2.2.2.8.2 Suministro de Agua

En la cuenca de la Quebrada "El Salado" se construirán dos embalses:
El primero sobre el cauce principal de la quebrada El Salado, afectando un área de 7.4 hectáreas, con altura de dique de 30 m, y con la cresta a 3,376 msnm, un volumen de dique de 245,200 m3 y una capacidad de almacenamiento de 600,500 m3.
El segundo embalse sobre la laguna Pajarito, en la misma zona de la quebrada El Salado e inmediatamente al este del embalse mencionado líneas arriba, con un dique de 20 m de altura, una cresta a 3,525 msnm, un volumen de dique de 184,500 m3 y capacidad de almacenamiento de agua de 506,800 m3.

2.2.2.8.3 Taller de Camiones

El taller de mantenimiento de camiones mineros tiene capacidad para once unidades, con áreas separadas para el lavado de camiones, cambios de neumáticos, lubricación y estación de soldadura, así como siete áreas de mantenimiento. La superficie del taller es de 11,000 m2. La instalación también incluye un edificio de oficinas de 720 m2, depósito y almacenamiento de neumáticos, comedor, cocina, cambio de guardia y un área de tratamiento de drenajes de 300 m2 situado junto a la zona de lavado.

2.2.2.8.4 Polvorín

El almacén de explosivos se encuentra una distancia aproximada de 450 m de la planta de procesos y a igual distancia del extremo norte del tajo. Se compone de un patio para almacenamiento de nitratos, el patio para los silos de emulsión matriz, y almacenes de explosivos de acuerdo a la reglamentación vigente, también incluye una zona de oficinas. El polvorín comprende un área 16,994 m2.

2.2.2.8.5 Instalaciones Administrativas y Laboratorios

Comprende un complejo de edificios localizados en la zona de la planta de beneficio del proyecto. En la Tabla 2.2-8 se enumeran los edificios que componen este complejo junto con el área de construcción de cada uno. En el Mapa Anexo 2-7 y Mapa Anexo 2-44 se presentan los detalles más importantes de estas instalaciones.

Tabla 2.2-8 Instalaciones administrativas y laboratorios

Instalación	Área (m2)
Administración general	420
Almacenes generales	1,800
Laboratorio de Geología	480
Litoteca	480
Instalaciones médicas	
Edificio de control de acceso	240
Oficinas de administración de plantas	480
Laboratorio químico y metalúrgico	480
Taller de Mantenimiento	800
Cambio de guardia de Planta de proceso	
Oficina y cambio de guardia en la trituradora de la planta	65
Oficina de Geología	480
Seguridad de campamento	384
Campamento permanente (incluye casinos, dormitorios, administración, gimnasio, cantina, Área recreativa, cocina, Sala médica), en la zona de El Salado	20,000
Campamento militar	384

2.2.2.9 Personal

La fuerza laboral de la operación será constituida desde antes del inicio de las operaciones, y será ajustada de acuerdo con los cambios en el programa de producción. El cálculo del personal requerido para el desarrollo del proyecto se basa en los siguientes criterios:

- Operación de mina y planta: 24 horas al día, 7 días a la semana

- Duración de los turnos: 12 horas, 2 turnos diarios
- Sistema de trabajo: 4 días de trabajo y 4 días de descanso

De acuerdo con lo anterior, la fuerza de trabajo considerada llega a un máximo de 1,616 personas durante la etapa de construcción y montaje, y luego se estabiliza en 935 personas durante la etapa de producción, incluyendo profesionales, técnicos y obreros, considerando el personal de la mina, la planta, el área ambiental y la áreas de apoyo ó administrativas, el detalle del cuadro de personal se muestra en la Tabla 2.2-9.

Tabla 2.2-9 Resumen de la fuerza laboral proyectada por etapas

Etapa	Preminado, Construcción y Montaje		Operación de Lixiviación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Último año de Producción	Solo Lixiviación, sin alimentación de mineral	Lavado de Pilas	Cierre de Pilas	Operación & Mantenimiento de Efluentes
							Cierre de Infraestructura			
	2010	2011	2012 - 2013	2014 - 2021	2022 - 2025	2026	2027 - 2028	2029 - 2030	2031 - 2032	Desde Enero de 2033
Personal Greystar										
Profesional	64	64	87	109	103	59	40	34	30	4
Técnico	22	22	113	336	277	115	67	49	41	8
Obrero	85	85	110	118	109	68	56	49	38	21
Total Greystar	171	171	310	563	489	242	163	131	110	33
Personal de Contratistas										
Profesional	15	110	55	22	20	11	7	7	7	1
Técnico	30	205	100	230	184	69	35	35	35	8
Obrero	150	1050	500	40	32	12	6	6	6	8
Total Contratistas	195	1,365	655	292	236	92	47	47	47	17
Ejercito	40	80	80	80	80	80	60	60	40	20
Total Proyecto	406	1,616	1,045	935	805	414	270	238	197	70

2.2.3 SISTEMAS Y MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN

2.2.3.1 Criterios de Diseño y Geometría de la Explotación

Para el diseño de la geometría de la explotación, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Modelo de recursos
- Modelo económico
- Modelo geotécnico

El análisis de esta información se realizó en el software "Whittle 4X", obteniéndose los parámetros geométricos de los bancos con los cuales se realizará la explotación, y que se muestran en la Tabla 2.2-10 y Figura 2.2-11. Es de aclarar que estos parámetros variarán de acuerdo a la zona del tajo que se esté explotando.

Tabla 2.2-10 Parámetros geométricos de los bancos del tajo

Sector/Dominio Estructural	Configuración del Banco			
	Angulo de la Cara del banco (°)	Altura de banco (m)	Berma (m)	Ángulo Inter-rampa (°)
Los Laches				
Los Laches Este	70	6.25	4	45
Los Laches Oeste	70	6.25	4.4	43.1
Veta de Barro				
Veta de Barro Norte	70	6.25	4.4	43.1
Veta de Barro Sur	70	6.25	4	45
Perezosa Norte				
Perezosa N1	70	6.25	4.4	43.1
Perezosa N2	70	6.25	4	45
Perezosa Sur				
Perezosa S1	70	6.25	4.4	43.1
Perezosa S2	70	6.25	4	45.0

Figura 2.2-11 Esquema geométrico de los bancos

Los principales parámetros de diseños usados en la geometría de la explotación son:

- Alto del Banco: 6.25 m
- Caminos con 30 m de ancho y 10% de peralte.
- Ángulos de talud: Los mostrados en la Figura 2.2-12
- La altura máxima permitida de la pared del tajo para los ángulos inter-rampa es de 150 m.

2.2.3.2 Análisis Geotécnico

Para el diseño geotécnico del tajo fueron definidos 5 tipos de macizos rocosos, los cuales fueron determinados con base en la litología, alteración, intensidad de la alteración y características tectónicas (presencia de falla). En la Tabla 2.2-11 se muestra la matriz con la cual fueron definidos los macizos rocosos, los cuales permitieron crear un modelo geotécnico en 3 dimensiones para el área del tajo (ver Figura 2.2-12).

Los análisis de estabilidad realizados dieron como resultado que la estabilidad de la pendiente es sensible tanto a la actividad sísmica como a la presencia de agua subterránea. El factor de seguridad se encontró por encima del mínimo aceptable, para las condiciones establecidas en los modelos de estabilidad.

Posteriormente al diseño original, que fue realizado por la empresa iC Consulenten, la empresa Geoblast hizo una optimización a los parámetros del diseño geotécnico, realizando análisis de estabilidad para cada dominio estructural teniendo en cuenta la orientación de la pendiente del tajo en cada uno de ellos.

El resumen de la mencionada optimización se presenta en la Tabla 2.2-12.

Tabla 2.2-11 Matriz de clasificación de los macizos rocosos

	Litología	Alteración	Intensidad	Textura
RM 5 – MF (Material Fallado)	FZ	(no silicificado)	Alto, Medio, Débil	
RM 4 – A-TM (Alterado/Tectonizado)	Todas las litologías (sin FZ)	Cualquier tipo de alteración	Alto, Medio, Débil	Crushed, sandy, faulted, brk, frac, gouge, augen+tecton, fol, sheared, banded
RM 3 – AM (Alterado)	Todas las litologías (sin FZ)	Cualquier tipo de alteración – (silicif+vacías)	Alto, Medio, Débil	(- txt tectonismo)
RM 2	Todas las litologías (sin FZ)	Cualquier tipo de alteración + Vacías	Débil	(- txt tectonismo)
RM 1	Todas las litologías (sin FZ)	Silicificado	Débil, Medio	No txt + (qz.fld – bxd)

Figura 2.2-12 Modelo geotécnico en 3 dimensiones

Tabla 2.2-12 Resultados de la optimización al diseño geotécnico del tajo

Angulos Interrampa		
Dominio Estructural	**Ic Consulenten (2008)**	**GeoBlast (2009)**
Veta Barro Norte	43	47
Veta Barro Sur	46	48
Los Laches	45	48

Angulos Interrampa		
Dominio Estructural	**Ic Consulenten (2008)**	**GeoBlast (2009)**
Perezosa Sur 1	43	48
Perezosa Norte 1	43	49
Perezosa Norte 2	45	49

2.2.3.3 Dimensionamiento y Localización de las Excavaciones

Para las excavaciones del tajo se diseñaron cinco fases de explotación denominadas fase 0, fase 1, fase 2, fase 3 y fase 4, las cuales tienen las siguientes características:

- Fase 0: Se inicia en el banco ubicado en la cota 3,268.75 hasta el banco ubicado en la cota 3,131.25, comprendiendo una profundidad de 138 m y un total de 25 bancos. En esta fase se removerán aproximadamente 1,7 millones de toneladas de mineral y 4,5 millones de toneladas de estéril.

- Fase 1: Se inicia en el banco ubicado en la cota 3,387.5 hasta el banco ubicado en la cota 2,806.25, comprendiendo una profundidad de 581 m y un total de 94 bancos. En esta fase se removerán aproximadamente 64,8 millones de toneladas de mineral y 44,5 millones de toneladas de estéril.

- Fase 2: Inicia desde el banco ubicado en la cota 3,487.5 hasta el banco ubicado en la cota 2,735.5, comprendiendo una profundidad de 750 m y un total de 121 bancos. En esta fase se removerán aproximadamente 140.9 millones de toneladas de mineral y 203.8 millones de toneladas de estéril.

- Fase 3: Inicia desde el banco ubicado en la cota 3,481.25 hasta el banco ubicado en la cota 2,681.25, comprendiendo una profundidad de 800 m y un total de 129 bancos. En esta fase se removerán aproximadamente 87.8 millones de toneladas de mineral y 212.3 millones de toneladas de estéril.

- Fase 4: Inicia desde el banco ubicado en la cota 3,525.0 hasta el banco ubicado en la cota 2,643.75, comprendiendo una profundidad de 881 m y un total de 129 bancos. En esta fase se removerán aproximadamente 98.6 millones de toneladas de mineral y 278.5 millones de toneladas de estéril.

La localización y topografía de cada una de estas fases pueden verse en el Mapa Anexo 2-9 al Mapa Anexo 2-21.

2.2.3.4 Secuencia de la Explotación para los Primeros Cinco Años y Quinquenal

En el Mapa Anexo 2-14 al Mapa Anexo 2-21, se muestra la secuencia grafica de explotación minera de los primeros cinco años y luego cada cinco años, al final de cada periodo, La descripción resumida del avance de minado de cada periodo mencionado es la siguiente:

- Año 1: Pre producción. Desarrollo de la fase 0 para construir la plataforma de trituración en la elevación 3,131.25. Se inicia la fase 1 en la elevación 3,356.25

- Año 2: Pre producción. Desarrollo de la fase 2 en la elevación 3,406.25

- Año 3: Producción. Se tienen trabajando 3 fases de minado simultáneamente, el banco más profundo se ubica en la fase 1 en la elevación 3,181.25 y el más elevado se ubica en la fase 3 en la elevación 3,475.

- Año 4: Se tienen trabajando 4 fases de minado simultáneamente, el banco más profundo se ubica en la fase 1 en la elevación 3,081.25 y el más elevado se ubica en la fase 4 en la elevación 3,450.

- Año 5: Se tienen trabajando 4 fases de minado simultáneamente, el banco más profundo se ubica en la fase 1 en la elevación 3,012.5 y el más elevado se ubica en la fase 4 en la elevación 3,393.75

- Año 10: Se tienen 2 zonas de minado, la más profunda en la fase 1 en la elevación 2,906.25 y en la fase 4 en la elevación 3,018.25

- Año 15: La fase 1 se completó de minar. Se tiene solo una zona de minado donde se han "juntado" las fases 2, 3 y 4. La elevación más profunda es 2,731.25.

2.2.3.5 Diseño y localización del depósito de estériles

El plan de minado requiere remover 745 Mt de material estéril, de los cuales 35 Mt se depositarán en la plataforma de trituración y en las bases o diques de contención de las pilas de lixiviación de Angostura y Páez. Los 710 Mt restantes se depositarán en un depósito de estéril diseñado sobre el valle de la quebrada Móngora (ver Mapa Anexo 2-28).

Los parámetros utilizados en el diseño del depósito de estéril de "Móngora" son los siguientes:

- Altura de banco ó vaciado: 60 m
- Berma de seguridad: 30 m (entre alturas de vaciado de 60 m)
- Angulo de talud: 37°
- Densidad de material suelto: 1.9 t/m3
- Pendiente de rampas: 10 %
- Ancho rampas y caminos: 30 m

La ubicación del depósito "Móngora" (ver Mapa Anexo 2-7) se extiende en su totalidad al interior de la propiedad de Greystar y evita áreas con potencial de exploración de otros recursos mineros. Su capacidad estimada es de 395.2 millones de metros cúbicos que representan 750.8 millones de toneladas considerando una densidad de material suelto de 1.90 t/m3.

2.2.3.6 Análisis Geotécnico de los Taludes de Corte

2.2.3.6.1 En el Frente de Explotación

En los frentes de explotación y durante la excavación de la roca volada, el ángulo de talud de la excavación variará de 40º a 70º para bancos de 6.25 metros de altura, y cuando el talud llegue a su posición final, el ángulo de la cara del banco será de 70º, el ángulo entre rampas de todas las paredes del tajo variará de 43º a 45º y el ancho de la berma de separación de bancos será de 5 metros. La misma configuración se tendrá en los taludes de corte de las paredes adyacentes a las vías de acarreo y a las plataformas de edificios principales. Los taludes de relleno a construirse en las plataformas de las vías de acarreo, plataformas de edificios principales y en los bancos de los depósitos de roca estéril y suelos orgánicos, tendrán una inclinación igual al ángulo de reposo, que

variara de 35º a 40º, siendo el ángulo de inclinación final entre rampas para el depósito de roca estéril de 28º.

2.2.3.6.2 Taludes de las Vías

La empresa GeoBlast realizó el análisis de estabilidad de cortes y rellenos para una sección típica de los caminos de la mina. En general la topografía del sector es escabrosa, por ende se presentan curvas cerradas y de gran pendiente (ver Figura 2.2-13)

Figura 2.2-13 Camino inicial, vista en planta y perspectiva

La propuesta para la construcción de caminos fue realizada por la empresa NCL (ver Figura 2.2-14), dicha propuesta incluye los Cortes y Rellenos típicos, cuyos parámetros de diseño son:

- Altura de Banco: 6.0[m]
- Ancho de Berma: 2.5[m]
- Ancho Camino: 30[m]
- Ángulo de Trabajo: 70°
- Ángulo Interrampa: 52°

Figura 2.2-14 Propuesta de cortes y rellenos para caminos (NCL)

Con el fin de determinar configuraciones estables para los diseños de los caminos mencionados en términos de altura y ángulo del talud máximo, se realizó el análisis de estabilidad (estructural) entre los dominios presentes y la orientación del talud para cada uno de los 19 perfiles analizados (14 para el camino inicial y 5 para el camino Móngora Sur), **con factores de seguridad de 1.3 para el caso del Camino Inicial y de 1.5 para Camino Móngora Sur.**

En la Tabla 2.2-13 se presentan las alturas máximas para cada uno de los Dominios Estructurales.

Tabla 2.2-13 Resumen de alturas máximas de talud para caminos

CAMINO INICIAL (ángulo talud de 52°)	
Dominios Estructurales	Altura Máxima [m]
La Perezosa Sur 1	50-55
La Perezosa Norte 1	90-100
Los Laches	54-60
Veta Barro Sur	60-70
Veta Barro Norte	53-60

CAMINO MÓNGORA SUR (ángulo de talud de 52°)	
Dominios Estructurales	Altura Máxima [m]
La Perezosa Sur 1	30-45

2.2.3.6.3 Taludes de los Patios

En el proyecto Angostura se consideran 2 patios principales, el primero es el área para Molienda y Triturado, en ella van a estar distribuidas principalmente las áreas diseñadas para implementar las 3 fases de triturado y el proceso de molienda, también se ubican las zonas de acopio para lixiviación y flotación, y el silo donde se realizará el carguío del mineral a lixiviación.

El segundo patio principal es la Zona Industrial: este complejo compuesto principalmente por la planta de beneficio, talleres y edificios administrativos.

En la Tabla 2.2-14 se muestran los resultados de los análisis geológicos y geotécnicos realizados a cada una de estas áreas.

Tabla 2.2-14 Análisis geológico y geotécnico en los patios del proyecto

No.	RIESGO	AREA DE MOLIENDA Y TRITURADO	RIESGO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO	ZONA INDUSTRIAL	RIESGO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO
1	Pendiente del terreno >30°	Topografía con pendiente desde moderada hasta alta; es común encontrar zonas muy pendientes como las zonas adyacentes a la quebrada Angostura.	ALTO	en general, topografía es suave; topografía más pendiente solamente localmente	BAJO
2	Características de erosión observadas	material suelto en superficie es común, en particular a los lados pendientes de la quebrada Angostura	MEDIO	por elevaciones mayores y una morfología más suave, no se observa mucho de la erosión (solamente en sitios particulares como a los lados de arroyos)	BAJO
3	Drenaje general hacia el área o drenajes principales cruzando el área	quebrada Angostura (principal sistema de drenaje del área) cruzando el área; otras quebradas de menor orden drenando hacía la quebrada Angostura	ALTO	drenaje principal de agua crucando el área (arroyo Mortino, arroyo Cristo Rey); por elevaciones mayores los caudales no son grandes	MEDIO
4	inestabilidad en los suelos (fallas, escarpes) observada en el terreno	se observó varios deslizamientos, asociados con la falla Angostura	ALTO	varios deslizamientos (< 30 m), en particular cerca a la falla Mortino.	MEDIO
5	Fallas geológicas principales (> 2 m ancho) cruzando el área y/o corte de la pendiente	falla Angostura y fallas asociadas a esta cruzando el área; distancia entre el sistema de fallas de Angostura y el sitio de la molienda approx. 50 -100 m	MEDIO	Falla Mortino cruzando el área en forma diagonal (NE-SO)	ALTO
6	Fallas geológicas menores cruzando el área y/o el corte del talud - Baja resistencia del material de falla, causando asentamiento diferencial - falla sobre posibles planos, por orientación desfavorable respecto a la orientación del talud	se observo varias fallas, con orientaciones NO-SE a E-O	MEDIO	se observo varias fallas menores, con orientaciones NE-SO y ESE-ONO	MEDIO
7	Discontinuidades (fracturas, foliación, zonas de cizalla) mostrando orientaciones desfavorables con respecto al corte del talud - Posible falla del talud, diseño particular con refuerzos	considerando un talud con corte hacía Oeste: orientación desfavorable de los planos de foliación, posibilidad de fallas sobre los planos; también posible fallas sobre intersecciones de varias orientaciones de planos.	MEDIO	considerando un talud con corte hacía Oeste: orientación desfavorable de los planos de foliación, posibilidad de fallas sobre los planos; también posible fallas sobre intersecciones de varias orientaciones de planos	MEDIO
8	Zonas de material con mala calidad del mazico rocoso (alto grado de fracturamiento, alta intensidad de alteración argílica) observadas en el mapeo de superficie y en perforaciónes. - Pueden causar inestabilidads durante y después de la construcción	en varias partes se identificó zonas tectonizidas a los lados de la falla Angostura (con falla de material)	MEDIO	Identificación de zonas tectonizadas durante la perforación, en particular en las áreas cercanas a la falla del Mortiño y a la intersección de las fallas.	ALTO

2.2.3.6.4 Depósito de Estériles

El análisis geotécnico y de estabilidad para el depósito de estériles de Móngora fue realizado por Geoblast, determinando que la geometría del depósito es estable. A continuación se relacionan los principales parámetros de la geometría:

- Pendiente General: +28°
- Diferencia de cota máxima: 950 metros
- Altura de Capa: 60 metros

Los modelos numéricos de estabilidad fueron corridos con las siguientes condiciones: Máxima lluvia probable, Máximo evento sísmico y cambios en la resistencia del material estéril.

2.2.3.6.5 Taludes de Trabajo Final de la Mina

El resultado del analisis geotécnico del tajo fué obtener los angulos interrampas, angulos de las bermas y analizar la estabilidad del talud general (global).

Dentro de la evaluación geotécnica del tajo se elaboró el modelo estructural en 3 dimensiones (ver Figura 2.2-16) con base en la información obtenida por mapeo de superficie y de los datos de la perforación. Con estos datos se definieron los dominios estructurales en el área del tajo como también los sectores del tajo con condiciones estructurales distintas con respecto a la orientación del talud y la orientación de las estructuras (ver Figura 2.2-16).

Figura 2.2-15 Modelo estructural del tajo en 3 dimensiones

Figura 2.2-16 Dominios estructurales en el área del tajo

El analisis de estabilidad del tajo se realizó en varias etapas: Primero se evaluó la estabilidad de los bancos usando la información de todas las estructuras que fueron levantadas en cada dominio estructural; posteriormente se evalúó la estabilidad interrampa usando unicamente las estructuras de mayor longitud, y finalmente se evaluó la estabilidad del angulo del pit global usando secciones geotécnicas del modelo generado.

La Tabla 2.2-15 muestra la distribución de los angulos interrampa que se obtuvo en la última fase de la optimización de los angulos del pit. Los parámetros definidos por la empresa Geoblast son los considerados en el diseño final.

Tabla 2.2-15 Cuadro comparativo ángulos interrampa analizados

2.2.3.6.6 Taludes de Trabajo Final en el Depósito de Estériles

El análisis de estabilidad de los taludes finales y el análisis de estabilidad global para el depósito de estériles de Móngora, fue realizado por la empresa GeoBlast y se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Factor de seguridad (FS) mínimo de 1.0 para los taludes críticos.
- Los análisis fueron evaluados en condición seca.
- Se consideró una aceleración sísmica horizontal de 0.17g y vertical de 0.11g respectivamente.

Los perfiles analizados fueron seleccionados teniendo en cuenta la máxima pendiente de la topografía del terreno y la dirección de potencial movimiento del depósito de estériles. Con base en lo anterior, se seleccionaron 3 perfiles "críticos" (ver Figura 2.2-17) y los resultados de los análisis de estabilidad para dichos perfiles se muestran en la Tabla 2.2-16.

Figura 2.2-17 Perfiles seleccionados en el depósito de estériles

Depósito de Estériles de Móngora

Tabla 2.2-16 Resumen de los análisis de estabilidad en el depósito de estériles

Perfil	Longitud Máx.(m)	Ángulo Global (°)	Altura Total (m)	Altura de Capa (m)	FS
P-1	2,112	28	906	60	1.19
P-2	1,793	28	811	60	1.37
P-3	1,537	28	600	60	1.11

2.2.4 ASPECTOS DE MONTAJE

2.2.4.1 Accesos Internos al Área de Interés

2.2.4.1.1 Vías Existentes

Vía de acceso actual por California

El proyecto cuenta en la actualidad con una vía de acceso, la cual sale de Bucaramanga y pasa por los poblados de Matanza, Suratá y California, para llegar finalmente al proyecto Angostura, la longitud total es de 69 km, y se trata de una via de segundo orden departamental hasta California y de tercer orden departamental hasta Angostura. , se encuentra parcialmente pavimentada (solo 19 km). Esta vía será interrumpida debido al inicio de la preparación de la Mina.

Vía Bucaramanga-Berlín-Vetas-El Rodeo

El tramo desde Bucaramanga hasta Berlín es parte del sistema nacional vial, y corresponde a una vía de primer orden departamental, con una longitud de 62 km. En la localidad de Berlín se toma el desvío hacia la localidad de Vetas, este tramo corresponde a una vía localizada en zona rural, clasificada como carretera secundaria de orden departamental. Su longitud es de aproximadamente 23 Km.

Luego se continúa desde Vetas hacia la zona llamada "El Rodeo", este tramo corresponde a una vía localizada en zona rural, clasificada como carretera terciaria o carreteable de orden municipal. Su longitud es de aproximadamente 8Km. Desde este último punto se deberá construir un tramo nuevo de carretera para llegar hasta el proyecto.

- Localización política y administrativa

El tramo Berlín – Vetas se localiza en la jurisdicción de los municipios de Tona, Charta y Vetas, y une a las poblaciones de Berlín con Vetas. Ver Figura 2.2-18 de localización del proyecto Angostura respecto a los municipios de California, Vetas y Charta.

El tramo Vetas - Angostura se localiza en jurisdicción del municipio de Vetas, pasando por las veredas El Centro y El Chopo únicamente

Figura 2.2-18 Localización proyecto Angostura

2.2.4.1.2 Accesos Proyectados

Vía Berlín-Vetas-Angostura (Acceso principal)

La vía Berlín-Vetas-Angostura ha sido seleccionada como vía principal de acceso a la zona del proyecto, para esto se planea ensanchar y mejorar la actual Berlín-Vetas de 23 kilómetros, y también los 8 kilómetros adicionales entre vetas y la localidad llamada "El Rodeo". Luego de construirán 12 kilómetros finales adicionales (tramo nuevo) para llegar a la zona del proyecto Angostura. Tanto los tramos a ser mejorados, como el tramos nuevo tendrán los estándares mínimos exigidos por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

La licencia ambiental para la construcción de este proyecto se obtuvo de parte de la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga el primero (01) de junio de 2005, y en este momento se viene actualizando conforme al diseño efectuado por la empresa ETA los años 2008 y 2009.

- Parámetros de diseño geométrico

La sección transversal diseñada (ver Figura 2.2-19) es de 6.40 metros de ancho, con dos carriles de 3.20 metros de ancho cada uno, con el 2% de bombeo hacia cada lado, cuneta hacia el talud superior de 1 metro de ancho y una berma hacia el talud inferior de 0,5 metros, que será berma cuneta en los casos que así se requiera (ver Tabla 2.2-17).

Figura 2.2-19 Sección transversal de las vías proyectadas

Tabla 2.2-17 Parámetros de diseño, Vía Berlín – Vetas – Angostura

Velocidad de diseño de la vía	30 Km/h
Radio mínimo de diseño	30 m
Radio mínimo en curvas regresivas	20 m
Pendiente longitudinal mínima (bombeo)	0.50%
Bombeo o pendiente transversal mínima	2%
Peralte máximo	8%
Ancho de calzada en tangente (2 carriles de 3.2 m)	6.40 m
Ancho de cuneta (lado interno)	1.0 m

A continuación se relacionan todos los estudios realizados para el diseño de la vía los cuales fueron realizados por la firma ETA S.A.:

- Estudio de Impacto Ambiental
- Estudio de Diseño Geométrico.
- Estudio de Geología para Ingeniería y Geotecnia.

- Estudio de Suelos para el Diseño de Fundaciones de Puentes, Obras de Arte y otras Estructuras de Contención.
- Estudio de Estabilidad de Taludes.
- Estudio Geotécnico para el Diseño del Pavimento.
- Estudio de Hidrología, Hidráulica, Socavación y Redes de Alcantarillado.
- Estudio Estructural para Diseño de Puentes.
- Estudio de Señalización.
- Estudio de Afectación Predial.
- Estudio para Pliego de Condiciones, Cantidades de Obra, Análisis de Precios Unitarios, Presupuesto, Cronograma y Especificaciones Técnicas.

Vía California-Angostura (Acceso secundario)
Tal como se mencionó en el acápite anterior, el acceso actual al proyecto quedará interrumpido con el inicio de las labores de preparación de la mina, se construirá un acceso secundario que mantenga la circulación vial entre California y Angostura, y se mantendrá como acceso para transporte del personal que deberá llegar a trabajar diariamente al proyecto. Este acceso tendrá una longitud de 10.5 km, y será una vía terciaria pero con especificaciones de una vía de segundo orden bajo la jurisdicción Municipal o de carácter municipal, con las características o parámetros de diseño detallados en la Tabla 2.2-18.

Tabla 2.2-18 Parámetros de diseño, Vía California – Angostura

Esta última vía (acceso secundario) forma parte de la licencia ambiental solicitada a través del presente documento.

2.2.4.2 Instalaciones y labores de Construcción y Montaje

2.2.4.2.1 Taller de Camiones

El taller de mantenimiento de camiones tiene capacidad para once camiones mineros de 185 toneladas de capacidad, con áreas separadas para el lavado de camiones, cambios de

neumáticos, lubricación, estación de soldadura, y siete áreas de mantenimiento. La superficie del taller es de 11,000 m2. La instalación también incluye un edificio de oficinas de 720 m2, depósito y almacenamiento de neumáticos, comedor, cocina, cambio de guardia y un área de manejo de drenaje de 300 m2 situado junto a la zona de lavado (ver Mapa Anexo 2-44).

2.2.4.2.2 Instalaciones administrativas, laboratorios y campamentos

El listado de las instalaciones administrativas y laboratorios se muestran en el Mapa Anexo 2-44 y el arreglo del campamento se muestra en el Mapa Anexo 2-45, en los cuales se encuentran localizadas las siguientes infraestructuras:

- Oficinas de administración general (420 m2)
- Almacenes generales (1800 m2) en módulos de 6 x 6 m
- Laboratorio de Geología (480 m2)
- Instalaciones médicas
- Edificio de control de acceso (240 m2)
- Administración de plantas (480 m2)
- Laboratorio químico y metalúrgico (480 m2)
- Cambio de guardia de Planta de proceso
- Oficina y cambio de guardia en la trituradora de la planta (65 m2)
- Oficina de Geología (480 m2)
- Oficinas de seguridad para la zona de la planta y oficinas (384 m2) con capacidad para 40 personas.

El campamento permanente tiene capacidad para 80 personas y se encuentra adyacente a la carretera, a 15 km antes de llegar a la planta, y consta de un edificio de dormitorios de dos niveles con baño compartido entre dos habitaciones, Administración y gimnasio, Cantina, Área recreativa, cocina y sala médica. El campamento militar para esta zona es de 384 m2 con capacidad para 40 personas

2.2.4.3 Movimientos de Tierra

Para la construcción de las plataformas requeridas para las plantas de trituración primaria, secundaria y terciaria, y de la planta de beneficio, se ha hecho una estimación del movimiento de tierras en volúmenes de excavación común y relleno compactado (ver Tabla 2.2-19)

Tabla 2.2-19 Estimación del movimiento de tierras de plataformas principales

Tipo de volumen	Unidad	Planta Trituración Primario	Planta Trituración Secundario y Terciario	Planta de Beneficio
Excavación común	m3	1,203,455	442,570	442,570
Relleno compactado	m3	2,355,135	191,215	191,215

Asimismo se ha estimado el volumen total de movimiento de tierras (suma de volúmenes de corte y relleno) requerido para construir otras principales instalaciones del proyecto como la banda transportadora, planta de aglomeración, pila de "Angostura", pila de "Páez" y el sistema de drenaje superficial (ver Tabla 2.2-20)

Tabla 2.2-20 Volúmenes de movimiento de tierras de principales instalaciones

Actividad	Banda Transportadora	Planta de Aglomeración	Pila Angostura - Fase 1	Pila Angostura - Fase 2	Pila Páez	Sistema de drenaje superficial	Total	Unid
Movimiento de tierras	244,237	1,000	5,698,703	3,356,457	16,242,518	1,446,800	26,989,715	m3

Se priorizará el uso de roca estéril cortada de las laderas en la construcción de las mencionadas plataformas requeridas a fin de minimizar su acarreo desde ó hacia el depósito de material estéril de Móngora.

2.2.4.4 Análisis Geotécnicos

En el corredor Vetas – Angostura se presenta un predominio de rocas metamórficas e ígneas con edades que van del Precámbrico al Jurásico, las cuales se encuentran localmente cubiertas en orden de importancia por depósitos cuaternarios glaciares, coluviales y fluvioglaciares.

A nivel estructural la zona de estudio se localiza dentro del llamado Terreno Santander, y presenta como principales fallas regionales la del Río Suratá y la del Río Cucutilla. Desde el punto de vista sísmico el corredor vial se clasifica como zona de amenaza alta con valores de Aa (Aceleración pico Efectiva) de 0,25.

Fueron identificadas nueve zonas homogéneas desde el punto de vista geológico y geotécnico dadas las condiciones litológicas, estructurales morfológicas del área de estudio.

2.2.4.5 Aprovechamiento de los Recursos Naturales Renovables

Se prevé utilizar el agua captada por el reservorio "El Salado" y solo en época de lluvias, de las tomas directas de agua ubicadas en las quebradas Angostura y Páez. El reservorio "El Salado" será construido para contrarrestar el desabastecimiento de agua proyectado en época seca. Una mayor descripción del mencionado reservorio se hace más adelante en el párrafo 2.2.5.6.1.

El campamento será abastecido de agua por un tanque de almacenamiento de agua potable el cual a su vez será abastecido por un caudal de 30 m3/h de agua proveniente del reservorio "El Salado".

Asimismo, el abastecimiento de agua del taller de camiones se obtendrá de los 860 m3/h que serán enviados hacia el tanque de la planta de beneficio desde el reservorio de El Salado, ó desde la toma directa de agua de Angostura ó Páez.

2.2.4.6 Localización de los Botaderos

Se utilizará el depósito de material estéril de "Móngora" (Que se describe en el párrafo 2.2.3.5) como destino final de todo el material que se extraiga durante el proceso de construcción y montaje del proyecto, y que no pueda ser utilizado en dichos trabajos como relleno estructural ó como relleno de vías de acarreo debido a que son rocas poco competentes para dichos usos.

Asimismo, los suelos orgánicos y suelos arcillosos que se extraigan durante el mismo proceso constructivo tendrán como destino final a los depósitos construidos para de dichos materiales y que se describen más adelante en el párrafo 2.2.5.4

2.2.4.7 Plan de Obras y Cronograma de Ejecución

El plan de obras y cronograma de ejecución se muestra en la Tabla Anexa 2-10, el cual en sus aspectos más resaltantes se describe a continuación:

- En el corto plazo, los trabajos críticos serán la adquisición de tierras y el establecimiento de derechos de paso de líneas eléctricas. Estos trabajos mencionados deben completarse a finales del segundo trimestre del 2010 y La obtención de los permisos ambientales requeridos debería tardar unos 6 meses en total luego de presentado el Estudio de impacto Ambiental, también a finales del segundo trimestre del 2010.

- En el mediano plazo, los trabajos críticos serán la construcción de la carretera de acceso Berlin – Vetas – Angostura y la construcción de los suministros de agua y energía, la adquisición de equipos de Mina y de Procesos, la construcción de la infraestructura de la Mina, de la planta de procesos, talleres y campamentos, y la construcción de la plataforma de la trituradora primaria. Estos trabajos deben iniciarse el cuarto trimestre del 2010 y completarse a fines del segundo trimestre del 2011.

- En el largo plazo, los trabajos críticos para construir la pila de lixiviación y la planta de beneficio, son la adquisición y montaje de los principales equipos (estación de trituración primaria, sistemas de transporte por bandas, trituradores secundario y terciario, así como las bombas de solución) empezando el cuarto trimestre del 2010 y terminando en el tercer trimestre del 2011, la construcción de la pila de lixiviación concluirá a finales de segundo trimestre del 2012.

- En el caso de la planta de flotación, la adquisición y montaje de los principales equipos (molino de bolas, celdas de flotación, espesadores) se hará en el cuarto trimestre del 2011 y se terminará en el tercer trimestre del 2013. La Construcción de la planta de flotación se iniciará a principios del tercer trimestre del 2012, terminando en el cuarto trimestre del 2013.

Por lo tanto, se planea empezar la producción de Oro en barras “Dore” el tercer trimestre del 2012, y la producción de concentrados de Oro el segundo trimestre del 2014.

2.2.4.8 Requerimientos de Energía, Combustibles, Materiales de Construcción e Insumos

El abastecimiento de energía se hará a partir de una nueva línea eléctrica de 230. Kv conectada a la subestación de Los Palos, en la ciudad de Bucaramanga, la cual alimentará al proyecto Angostura, para esta infraestructura se está realizando una gestión independiente que viene tramitando la obtención de la licencia ambiental para la línea de energía. La nueva infraestructura eléctrica requerida incluye una expansión de la línea de 230 Kv desde la subestación Los Palos en un circuito de 40 Km de líneas de alta tensión. Se requerirá un transformador principal de una sola fase. El voltaje medio distribuido en el interior de la mina, la infraestructura, la planta de beneficio, las pilas de lixiviación y los depósitos de estériles será de 34.5 Kv.

Se prevé realizar consumos de materiales de construcción y aceros para la construcción de la planta de beneficio, banda transportadora y planta de aglomeración, la mayor parte de este material será adquirido en la ciudad de Bucaramanga (ver Tabla 2.2-21).

Tabla 2.2-21 Consumos de concreto y acero de principales instalaciones

Material	Planta Beneficio	Banda Transportadora	Planta de Aglomeración	Total	Unidades
Concreto	37,565	2,525	350	40,440	m3
Acero estructural	5,688	240	15	5,943	Ton

2.2.5 OPERACIONES MINERAS

2.2.5.1 Sistema de Explotación

El sistema de explotación es a cielo abierto con operaciones de carguío y transporte realizadas por palas hidraúlicas y camiones mineros. Se cuenta con tres destinos finales para el material extraído de la mina, estos son los siguientes:

- Operación de extracción y transporte de mineral oxido y transicional a las pilas de lixiviación, pasando por los procesos intermedios de trituración primaria, secundaria y terciaria, y luego transporte por bandas transportadoras.
- Operación de extracción y transporte de mineral sulfuro a la planta de flotación.
- Operación de extracción y transporte de material estéril al depósito correspondiente.

2.2.5.2 Descripción de Operaciones Unitarias

2.2.5.2.1 Perforación

El diseño promedio de la perforación considera una distancia entre filas de perforación de 6.0 m y un espaciamiento entre perforaciones sobre la misma fila de 7.0 m; la profundidad será de 8.05 m, que es consistente con la atura del banco de 6.25 m más sobre perforación de 1.80 m; Se planea utilizar equipos autónomos de perforación rotativa, montados sobre orugas, y con capacidad de presión vertical del mástil de perforación de 45,000 libras. El diámetro de perforación será de 20cm (7 7/8") y la productividad alcanzará a 77.6 tm/metro.

2.2.5.2.2 Voladura

Se planea utilizar ANFO como explosivo principal y Emulsión como secundario con los accesorios de voladura siguientes: Iniciadores, cordón detonante y retardos. El factor de potencia estimado (La relación de la cantidad de explosivo usado para fragmentar una tonelada de roca) tanto para la roca mineralizada como para la roca estéril es de 0.132 Kg/tonelada.

2.2.5.2.3 Carguío

Se planea realizar la operación de carguío de la roca fragmentada por la voladura, con palas hidráulicas de 29 yd^3 y cargadores frontales de 23 yd^3, ambos equipos tienen el alcance adecuado para cargar camiones de 185 toneladas de capacidad de transporte. Las palas alcanzarán productividades del orden de 46,000 t/día y los cargadores frontales de 24,000 t/día.

2.2.5.2.4 Transporte

Se planea transportar la roca mineralizada y estéril utilizando camiones mineros de 185 toneladas de capacidad, los cuales se complementan bien con las palas y cargadores frontales seleccionados. Las palas hidráulicas cargan los camiones con 5 cucharones y los cargadores con 6 cucharones. El destino del mineral será la trituradora primaria mientras que el destino del estéril será el depósito de "Móngora".

2.2.5.2.5 Almacenamiento

Debido a que el envío de mineral a la pila de lixiviación es una operación discontinua por el proceso intermedio de trituración, será necesario construir patios y acopios temporales de mineral en la mina, para ser usados cuando haya un exceso de mineral que no pueda ser recibido por la trituradora.

2.2.5.3 Manejo y Disposición de Estériles

Toda la roca estéril sin valor económico que será extraída del tajo tendrá como destino final el depósito de estériles de "Móngora", cuyo diseño fue descrito en el acápite 2.2.3.5 La roca estéril será cargada por las palas hidráulicas de 29 yardas cubicas en los camiones mineros de 180 toneladas de capacidad, los cuales transportarán la roca estéril a su destino final. La extracción diaria de roca estéril, en promedio para toda la vida de la mina, será de 171,000 toneladas lo cual es equivalente a 62.5 millones de toneladas de roca estéril a ser extraídas anualmente.

2.2.5.4 Caracterización y Manejo de los Suelos

Como consecuencia del desarrollo y la construcción de la mina, depósitos, pilas de lixiviación y diversa infraestructura de soporte a la operación, se disturbarán áreas que contienen suelos orgánicos y suelos saturados. Estos materiales son indispensables en los trabajos de re-vegetación temporal y final de las zonas disturbadas como parte del plan de cierre de la mina, por lo tanto, se ha planeado acopiar aproximadamente dos millones de metros cúbicos de cada uno de estos materiales en cinco depósitos cuya ubicación se muestra en la Figura 2.2-20. Estos estarán ubicados alrededor de la mina, el depósito de "Móngora" y las pilas de lixiviación.

Figura 2.2-20 Ubicación en azul de los depósitos de suelos orgánicos

2.2.5.5 Fuentes y Requerimientos de Energía y Combustibles

2.2.5.5.1 Energía

Se construirá una nueva línea eléctrica de 230 Kv conectada a la subestación de "Los Palos", en la ciudad de Bucaramanga, la cual alimentará al proyecto Angostura y tendrá una capacidad instalada de 11 Mw para los años 2012 y 2013, y 51 Mw a partir del año 2013. El consumo anual estimado en Kilowatts – hora para el proyecto varía de 74.5 millones en el primer año a 236 millones en el año pico (2,023) y un consumo de 2,798 Gigawatts – hora para toda la vida de la mina (ver Tabla 2.2-22). A la fecha se viene realizando una gestión independiente a fin de obtener la licencia ambiental para la línea de energía. Con el objetivo de cumplir con los requerimientos nacionales Greystar contrató a la empresa Interconexión Eléctrica S.A. (ISA) para determinar la factibilidad de la conexión del proyecto al sistema interconectado eléctrico nacional, para ello se tomó en cuenta la información sobre el modelo actual de interconexión eléctrica y su expansión proyectada en el más reciente plan de referencia de generación-transmisión de energía definido por la UPME.

Tabla 2.2-22 Estimación de consumos anuales de energía por procesos

POWER CONSUMPTION	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Item	Total (KW h/a)																
Power Summary																	
Primary Crushing & Stockpile	6,851,359	11,721,905	12,185,786	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	13,522,026	7,456,635	3,996,163	0	0
Secondary Crushing	4,916,649	8,411,833	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	8,744,723	4,986,052	2,493,026	0	0
Tertiary Crushing	10,556,667	18,061,271	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	18,776,026	10,540,993	5,270,497	0	0
Heap Leach Conveyor	22,463,560	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	48,136,200	64,999,200	64,999,200	51,999,360	17,333,120	0		
Heap Leach	15,884,023	33,066,640	35,760,499	37,036,888	38,313,276	38,313,276	43,418,828	43,418,828	45,971,604	45,971,604	42,041,483	45,791,323	49,541,164	29,421,827	0	0	0
Grinding	0	0	24,943,827	23,419,060	24,943,844	32,426,997	31,969,680	32,426,997	32,426,997	32,426,997	32,426,997	32,426,997	32,426,997	32,426,997	21,503,277	0	0
Pipeline	0	0	7,799,220	7,322,469	7,799,225	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	10,138,992	6,640,936	0	0
Flotation	0	0	7,809,274	7,331,908	7,809,279	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	10,152,063	0	0
Flotation Tailing Leaching	0	0	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200	4,336,200			
Thickeners concentrate	0	0	145,824	145,824	155,319	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	201,914	0	0
Filtering	0	0	1,105,174	1,037,617	1,105,175	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	1,436,728	0	0
Thickeners dewatering	0	0	674,666	633,425	674,666	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	877,066	0	0
Merril Crowe	6,219,102	10,640,184	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	11,054,368	5,599,522	0	0	0
Reagent Hadling	1,523,714	2,606,904	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,708,381	2,066,018	0	0
Water Services	235,812	403,448	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	419,153	335,322	0	0
Infrastructure Plant	5,933,338	10,151,274	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	10,546,427	8,383,057	0	0
TOTAL	74,584,224	143,199,660	195,145,748	195,170,694	199,044,287	211,790,539	216,438,774	216,896,091	219,448,867	219,448,867	232,381,746	236,131,586	226,881,587	148,582,068	63,356,066	0	0

La nueva infraestructura eléctrica requerida incluye una expansión a 230 Kv transferidos por la subestación "Los Palos" en un circuito de 40 Km de longitud, con líneas de alta tensión y una subestación 230/34.5 kv ubicada en la mina. Se requerirá un transformador principal de una sola fase. El voltaje medio distribuido en el interior de la mina, la infraestructura, la planta de beneficio, las pilas de lixiviación y los depósitos será de 34.5 Kv.

2.2.5.5.2 Combustibles

El combustible principal de los equipos mineros, camionetas y sistema de emergencia de la planta de procesos será el Petróleo, siendo el equipo minero el mayor consumidor estimándose su consumo anual en 63.1 millones de litros, tal como se aprecia en la Tabla 2.2-23.

Tabla 2.2-23 Consumo anual de petróleo de equipos mineros

Equipo	Consumo lt/hr	Número de equipos	Horas Trabajadas	Consumo total litros
Perforadora	124	6	37,975	4,724,040
Pala Hidraulica 29 yd3	279	5	31,646	8,835,424
Cargador Frontal 23 yd3	175	1	6,329	1,105,694
Camion 185 t	160	41	259,493	41,415,099
Tractores de orugas	85	6	37,975	3,227,841
Tractores de ruedas	62	3	18,987	1,179,111
Motoniveladora	40	3	18,987	749,998
Camiones para riego	89	3	18,987	1,691,768
Retroexcavadora	36	1	6,329	225,949
Total				63,154,924

2.2.5.6 Uso, Aprovechamiento y Afectación de Recursos Naturales Renovables

2.2.5.6.1 Agua

Se seleccionó el valle de El Salado como el sitio para ubicar un reservorio que capture el agua de esta quebrada y la almacene para ser suministrada al proyecto en épocas de estación seca estación (ver Figura 2.2-56).

- **Reservorio de Agua:** El régimen hidrológico en la vecindad del área del proyecto no es suficiente para suministrar la cantidad máxima requerida el 100% del tiempo, en consecuencia se construirán dos embalses en la cuenca de la quebrada El Salado, el primero sobre el cauce principal de la quebrada El Salado, afectando un área de 7.4 hectáreas, con altura de dique de 30 m con la cresta a 3,376 msnm, un volumen de dique de 245,200 m3 y una capacidad de almacenamiento de 600,500 m3. El segundo embalse sobre la quebrada Pajarito, al este del embalse sobre la quebrada el Salado, con un dique de 20 m de altura, con cresta a 3,525 msnm, un volumen de dique de 184,500 m3 y capacidad de almacenamiento de agua de 506,800 m3. En la Tabla Anexa 2-6 se presenta el cálculo de caudales ecológicos y la información hidrométrica de la cuenca, así como los cálculos de los caudales ecológicos para la cuenca de El Salado.

- **Tomas directas de agua:** adicionalmente se establecerán dos tomas directas de agua, una ubicada en la quebrada Angostura y la otra en la quebrada Páez, con los caudales de captación observados en la Tabla Anexa 2-7 y en la Tabla Anexa 2-8, estas tomas directas funcionarán exclusivamente en época de lluvias.

• **Sistema de distribución del agua:** El agua recolectada será bombeada hasta cinco tanques de almacenamiento diferentes para los siguientes fines:

- Abastecimiento del campamento: 30 m3/h de agua fresca.

- Planta de Procesos y Pilas de Lixiviación:
  ✓ **En Temporada seca:**
  Mínimo: 0 m3/h.
  Promedio: 170 m3/h.
  Máximo: 227 m3/h.
  ✓ **En Temporada húmeda:**
  Mínimo: 0 m3/h.
  Promedio: 0 m3/h.
  Máximo: 0 m3/h.

- Talleres Mina y para supresión de polvo en accesos y caminos
  ✓ **En Temporada seca:**
  Mínimo: 0 m3/h.
  Promedio: 44 m3/h.
  Máximo: 46 m3/h.
  ✓ **En Temporada húmeda:**
  Mínimo: 0 m3/h.
  Promedio: 0 m3/h.
  Máximo: 0 m3/h.

2.2.5.6.2 Aire

No se prevé un aprovechamiento ni uso del aire, ni tampoco un impacto mayor a su calidad por efecto de la operación minera. Como parte de la línea base se realizó un monitoreo en cuatro estaciones de aforo por más de 12 días consecutivos. Se midieron los sólidos suspendidos totales (PST), partículas menores de 10 micras (PM10), óxidos de azufre (SOx), óxidos de nitrógeno (NOx), cianuro, plomo, arsénico y mercurio. El seguimiento de todos los indicadores ambientales se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por el Reglamento Ambiental de Colombia, y los niveles de emisión establecidos por el Banco Mundial para minería a cielo abierto.

2.2.5.6.3 Suelos

En el área que ocupará el proyecto Angostura se determinaron los suelos que se relacionan en la Tabla 2.2-24.

Tabla 2.2-24 Descripción de suelos presentes en el área de operaciones

Zona (Frente)	Perfil No.	Aspectos Geomorfológicos /Fisiográficos	Pendiente %	Altura msnm	Taxonómica Subgrupos
Angosturas	17	Ladera	>75	3433	Melanudands típicos
	20	Ladera	>75	3699	Dystrocryepts típicos
Móngora	25	Ladera	>75	3173	Dystrudepts típicos
Páez	26	Ladera	>75	3338	Hapludands típicos
Campamento	29	Ladera	>75	2856	Udorthents líticos

El cuadro anterior, resumen del cuadro general del área de influencia directa (cuadro 3.2-7 Descripción de suelos modales identificados durante el trabajo de campo) permite establecer que son cinco los tipos de suelo encontrados. Para minimizar su afectación durante la intervención al terreno, se establecerán sitios para su disposición temporal a corta distancia de la zona en que se retiran procurando separar, en el caso de las pilas de lixiviación, el material superficial (top soil) del que se encuentra debajo de éste (turba). En efecto, habrá dos sitios de acumulación próximos a la base de cada pila y sendos depósitos vecinos a las bases del tajo minero y la escombrera (ver Mapa Anexo 2-7).

La disposición vecina a los sitios de remoción, en áreas con drenajes adecuados para evitar el lavado por la escorrentía y en bancos de poca altura que no impidan la aireación del material orgánico, permitirá que el material vegetal de las áreas próximas colonice el suelo removido (preservándolo mejor) y que se pueda retornar a las zonas originales a medida que se vaya agotando el mineral (en el caso del tajo), dando conformación definitiva al banco (en la escombrera) o sellando la pila de lixiviación. También se persigue con esta ubicación próxima el que sus características físico-químicas no interfieran con las del suelo sobre el que se ubiquen.

El espesor del suelo orgánico en las áreas afectadas es pequeño, menos de 50cm en la mayoría de los terrenos y hasta unos 80cm en zonas vecinas a los cuerpos de agua. Para el tajo, el volumen a remover se estima en 1.134.283m3, En el caso de la escombrera, se estima que el suelo removido para conformar un banco se emplee en la recuperación del banco previo al inmediatamente anterior, de forma que el volumen almacenado en un momento dado será bastante inferior al total del material que se remueva de la zona, 2.628.644m3, de las pilas de lixiviación de Angosturas y Páez se espera retirar 1.245.386m3 y 541.313m3 respectivamente.

2.2.5.7 Utilización y Manejo de Explosivos

La utilización de los explosivos será principalmente con fines mineros, y algunas veces se requerirá su uso en la construcción de accesos de exploración. Su manejo se hará desde el almacén de explosivos el cual se ubica a 450 metros del extremo norte del tajo (ver Figura 2.2-22). El nitrato de amonio se almacenará en bolsas de 1.25 t (big bags) hasta el momento de su utilización.

Considerando un factor de potencia de 0.132 kilogramos por tonelada y 90 millones de toneladas a ser extraídas de la mina anualmente, el consumo anual de ANFO será de 7,000 toneladas y de emulsión 4,680 toneladas asumiendo que el 60% del tonelaje será volado con ANFO y el 40% con emulsión. La Figura 2.2-21 muestra el cálculo del consumo de explosivos y accesorios de voladura.

Figura 2.2-21: Consumo anual de explosivos y accesorios

Figura 2.2-22: Arreglo del almacén de explosivos

2.2.5.8 Tipo o Clases de Explosivos y Accesorios

Se utilizaran los siguientes explosivos y accesorios: Emulsión, ANFO, Iniciadores APD 450, Cordón detonante, Retardos en taladro, Retardos en superficie y línea de Ignición de 500 metros.

2.2.5.9 Diseño de Voladura y Estimación de Vibraciones y Ruido

Se realizarán dos tipos de voladura: De producción y controlada, esta última se llevará a cabo en las áreas adyacentes a las paredes finales del tajo para reducir el impacto de la voladura en la estabilidad de las paredes de la mina. El diseño es igual para ambas rocas mineral y estéril (ver Figura 2.2-23).

Figura 2.2-23: Parámetros de diseño de voladura

Se realizó una estimación teórica de campo lejano (distancias mayores a 30 metros) de las vibraciones de la voladura suponiendo parámetros teóricos referidos a Angostura, la velocidad pico de partícula obtenida fue de 30.7 mm/sg en una distancia horizontal de 70.5 metros al punto de medición, siendo 50.8 mm/sg el límite máximo del estándar USBM (United States Bureau of Mines) para empezar a registrar rajaduras.

Los valores de la aceleración por componentes y valor máximo es el siguiente: Transversal 0.305, Vertical 0.313 y Tangencial 0.409, valor máximo 0.598, las unidades son mm/sg2 en todos los casos. Los valores de velocidad por componentes y valor máximo es el siguiente: Transversal 17.2, Vertical 22,2 y Tangencial 27.6, valor máximo 30.7, las unidades son mm/sg en todos los casos.

No existen poblaciones cercanas a la zona minera por lo tanto no aplica realizar una evaluación de la incidencia de las voladuras sobre las edificaciones.

Con respecto a las estimaciones de ruido, como parte de la elaboración de la línea base ambiental, los días 22 y 23 de Septiembre de 2009 se realizaron mediciones en seis puntos de monitoreo distribuidos en la zona del proyecto en horarios diurno y nocturno, las mediciones obtenidas se compararon con el valor máximo dado por la resolución 627 del 2006 del MAVDT (ver Figura 2.2 24 y Figura 2.2 25, Figura 2.2 26 y Figura 2.2 27).

Figura 2.2-24: Comparación de las mediciones obtenidas en horario diurno

Figura 2.2-25: Comparación de las mediciones obtenidas en horario nocturno

Figura 2.2-26: Comparación gráfica de los resultados obtenidos en horario diurno

Figura 2.2-27: Comparación gráfica de los resultados obtenidos en horario nocturno

En horario diurno, los resultados obtenidos en los puntos 3 y 4 fueron los valores más altos de emisión de ruido, de 48.39 dB y 50.70 dB respectivamente. Estos valores representan un 64.52% y 67.60% del valor de la norma (75 dB), por lo tanto, en el periodo monitoreado, los puntos evaluados cumplen con el nivel máximo exigido por la legislación ambiental vigente de acuerdo a la Resolución 627 de 2006.

En horario nocturno, los niveles obtenidos más altos se presentaron en los puntos 3 y 4 con valores de 48.25 dB y 50.76 dB respectivamente, estos valores representan un 64.33% y 67.68% del valor de la norma (75 dB). Al igual que en el horario diurno, los puntos evaluados cumplen con los niveles de emisión de ruido permisibles por la legislación ambiental vigente, por lo cual no representan algún riesgo para la salud humana o medio ambiente

2.2.5.10 Sistema de Monitoreo Permanente de Vibraciones

Desde la etapa de construcción de la mina se prevé adquirir un sistema de monitoreo de vibraciones compuesto por sismógrafos ó geófonos, sistemas de cables, equipo de adquisición de información y computador. Este equipo será usado constantemente durante la construcción y explotación, pero también en cualquier proyecto que se ubique fuera de la zona de actividad minera y que demande realizar voladuras, como por ejemplo, construcción de accesos y plataformas de exploración geológica.

2.2.6 BENEFICIO Y TRANSFORMACIÓN DE MINERALES

EL proyecto Angostura considera dos procesos de beneficio y transformación de minerales: La Lixiviación en Pilas y La Flotación. Ninguno de los dos procesos considera el uso del mercurio para el beneficio o transformación de los minerales y ninguno de los dos procesos generará colas que se descarguen al medio ambiente.

2.2.6.1 Descripción de los Procesos de Beneficio y Transformación

El proyecto considera la construcción de dos pilas de lixiviación: Angostura y Páez, en ellas se almacenará y procesará el 93% del total del mineral, trabajando a un ritmo de tratamiento promedio de 70,000 tpd (toneladas por día). Siendo un sistema cerrado, es decir que la solución producto es recirculada una vez extraído el oro y la plata, las pilas de lixiviación no generaran colas o residuos.

El proceso de flotación que empezará dos años después del inicio de las operaciones de la pilas de lixiviación, procesará el restante 7% del mineral a un ritmo de tratamiento de 5,200 tpd. Las colas del proceso de flotación serán aglomeradas con cemento Portland y serán también almacenadas y procesadas (nuevamente) en las pilas de lixiviación, de esta forma las colas de flotación, siendo mezcladas con el mineral de las pilas, quedarán contenidas dentro del mismo sistema impermeable.

Es importante resaltar que la mina de Angostura no usara mercurio o amalgamación para el beneficio de los minerales o para su transformación. Los procesos a utilizarse y el diseño de los mismos se rigen bajo estándares medio ambientales de proyectos mundiales, entre ellos la Legislación Colombiana y los estándares medio ambientales de la Corporación Financiera Internacional (IFC por sus siglas en Ingles), miembro del Banco Mundial.

2.2.6.1.1 Proceso de lixiviación en Pilas

El proceso de lixiviación en pilas consiste en el apilamiento del mineral sobre un área impermeable que permite la captación de la solución que contiene los metales lixiviados para poder concentrarlos o extraerlos.

La lixiviación en pilas es un proceso ampliamente usado en la minería del oro a gran escala, y su probada eficacia se ve beneficiada desde el punto de vista medio ambiental por la no generación de colas.

El agente lixiviante es una solución cianurada, mantenida a un pH entre 10.5 y 11, con una concentración de 500 ppm de cianuro de sodio (NaCN). El pH es controlado con la adición de cal. La solución cianurada permite la lixiviación de los metales oro y plata contenidos en el mineral. Para ello el mineral previamente triturado hasta un tamaño de 80% pasante 19 mm (P80 = 19 mm) es expuesto a lixiviación con la solución cianurada por el lapso de 60 días. La aplicación se hace por goteo sobre la pila de lixiviación. La solución resultante que contiene el oro y la plata, llamada solución rica, es recolectada en la poza de operaciones y desde allí es transferida por tuberías a una planta de precipitación con polvo de zinc (Proceso Merrill Crowe) donde se liberan los metales para luego fundirse en lingotes de doré. Después de la precipitación del oro y plata con polvo de zinc, la solución es llamada solución pobre. A esta solución pobre se le compensa el cianuro de sodio consumido hasta alcanzar la fuerza de 500 ppm de NaCN nuevamente, y luego es re-circulada por bombeo a las pilas de lixiviación.

Una de las principales características del proceso de lixiviación en pilas es la no generación de colas al ser el mineral apilado sobre una capa impermeable. Esta capa impermeable (geomebrana) incluye un sistema de subdrenaje para la captación y monitoreo de las aguas debajo de la pila de lixiviación. Un diagrama detallado de la sección de corte se muestra en el Documento Anexo 2-1, y la vista en planta se muestra en el Documento Anexo 2-2. La secuencia de construcción de la pila de lixiviación está descrita en el Documento Anexo 2-3.

Las pilas de lixiviación además están compuestas por las pozas de operaciones donde se colecta la solución rica. Estas pozas de operaciones poseen doble capa de asilamiento (geomembrana) y un sistema de monitoreo entre las dos capas, tal como se muestra en el Documento Anexo 2-4.

Entre otras características de las pilas de lixiviación del proyecto Angostura, se pueden mencionar:

- 02 pilas de lixiviación: Angostura y Páez.
- 308 millones de toneladas depositadas en las pilas de lixiviación.
- Las pilas de lixiviación son sistemas aislados con capas de arcilla y luego geomembrana, que evitan el contacto de la solución cianurada al medio ambiente.
- Las pilas de lixiviación cuentan con sistemas de colección de la solución del proceso, el esquema del sistema de colección es presentado en el Documento Anexo 2-5.
- Las pilas de lixiviación cuentan con sistemas de monitoreo de aguas sub-terraneas.
- Las pilas de lixiviación cuentan con canales de derivación de aguas de lluvia y escorrentías naturales alrededor de ellas. Los canales de derivación alrededor de las pilas de lixiviación están descritos en la sección 2.2.6.5.1.
- Se depositará mineral en las pilas de lixiviación del año 2012 al 2026. Fotografías virtuales de las pilas de lixiviación son presentadas en desde el Mapa Anexo 2-29 hasta el Mapa Anexo 2-33 y desde el Mapa Anexo 2-34 hasta Mapa Anexo 2-38 en forma anual para los primeros 5 años de operación de las pilas de lixiviación de Angostura y Páez, respectivamente. Los planos con los arreglos finales de Angostura se muestra en el Mapa Anexo 2-39 y en el Mapa Anexo 2-40 el de Páez.
- El tipo de mineral contenido en las pilas de lixiviación serán óxidos, transicional y sulfuros intermedios (sulfuros de bajo contenido de azufre como sulfuro y bajo tenor de oro). La descripción y caracterización del mineral en las pilas de lixiviación es presentado en la Tabla Anexa 2-12.

Preparación y Transporte del Mineral
La secuencia de preparación y transporte del mineral en el proceso de lixiviación en pilas es el siguiente:

- El mineral producto del minado será transportado por camiones hasta la ubicación de la planta de trituración y molienda (zona Armenia –ver detalle 2.2.6.2).
- La zona de la planta de trituración y molienda consta de una trituradora cónica primaria, dos trituradoras secundarias y cuatro trituradoras terciarias, en donde el mineral es reducido (preparado) hasta llegar a un tamaño del 80% pasante menor a 19 mm.
- El mineral triturado a 19 mm (70,000 toneladas por día) es transportado por medio de bandas tubulares (traducción de Pipe Conveyor) hasta la pila de lixiviación.
- Una fracción del mineral (20,000 toneladas por día) será desviado para ser aglomerado con las colas de flotación, el cual retorna a las bandas tubulares de transporte a través de un punto de intercambio.
- El mineral de las pilas de lixiviación queda en dicha zona hasta el cierre, en donde es limpiado y reclamado.

Las bandas tubulares también conocidas en el idioma Inglés como “pipe conveyors”, tienen ventajas medioambientales al tener la capacidad de doblarse y mantener el mineral encerrado

entre sus paredes, evitando así la generación de polvos. Una fotografía de este sistema es presentado en la Figura 2.2-28.

Figura 2.2-28: Fotografía de bandas tubulares (Pipe Conveyors)

Criterios de Diseño

El diseño de las pilas de lixiviación se basó en los criterios definidos por el plan de producción de mina y los parámetros de lixiviación determinados por las pruebas metalúrgicas conducidas principalmente en los Laboratorios McClelland de Reno, Estados Unidos. Los criterios de diseño y los principales resultados del diseño de las pilas de lixiviación de Angostura y Páez se resumen en la Figura 2.2-29.

Figura 2.2-29: Parámetros de diseño para lixiviación

Parámetro	Angostura	Páez
Tonelaje diario de mineral	70,000	70,000
Tamaño de partícula	19 mm	19 mm
Densidad promedio mineral	1.64 t/m3	1.64 t/m3
Altura de capa	8 m	8 m
Capacidad total (m3)	140 MMm3	80 MMm3
Capacidad total (t)	238 Mt	135 Mt
Tiempo de operación	10 años	5 años
Área de pilas	1´006,570 m2	1´050,160 m2
Sistema de aplicación de solución	Goteo	Goteo
Tiempo de lixiviación	60 días	60 días
Tasa de aplicación	10 L/hr/m2	10 L/hr/m2
Concentración de solución	500 ppm NaCN	500 ppm NaCN
pH	10.5 -> 11	10.5 -> 11
Volumen de descarga	3,200 m3/hr	3,200 m3/hr
Sistema de Subdrenaje	Si	Si
Tipo de tuberías de subdrenaje	Pared Doble	Pared Doble

Parámetro	Angostura	Páez
Sistema de detección de fugas	Si	Si
Sistema de impermeabilización de pila	Si	Si
Material de revestimiento de pila	LLDPE	LLDPE
Sistema de recubrimiento impermeable (faldas impermeables)	Si	Si
Área superficial de la pila recubierta con impermeable	30% (@ 80%)	30% (@ 80%)
Área de pozas	43,600 m2	50,050 m2
Volumen de Pozas	400,000 m3	200,000 m3
Sistema de impermeabilización de poza	Doble	Doble
Material de revestimiento de poza	HDPE	HDPE

Diagrama de Flujo

El mineral de mina triturado a 19 mm es transportado en bandas transportadoras hacia la pila de lixiviación a un ritmo de 70,000 toneladas por día. 20,000 toneladas de las 70,000 toneladas son desviadas para ser aglomeradas con las colas de flotación (4,680 t/d a un tamaño de 106 µm) con cal y cemento. Luego los aglomerados regresan a la banda trasportadora principal para juntarse con las otras 50,000 toneladas por día y son llevados hasta silo al pie de la pila de lixiviación, luego el mineral es descargado en camiones, quienes depositarán dicho mineral en la pila de lixiviación en capas o niveles de 8 metros de altura.

El mineral puesto en la pila este es lixiviado por 60 días con solución cianurada a 500 ppm de NaCN por un sistema de goteo. La solución rica en oro y plata resultante de la lixiviación es recolectada en la poza de operaciones. Desde allí esta solución (3,200 m3/hr) es bombeada a la planta de procesos para la precipitación del oro y la plata por el proceso de Merrill Crowe (precipitación con polvo de zinc). Una vez extraído el oro y la plata de la solución rica, se incrementa la fuerza de cianuro en la solución y es recirculada a la pila de lixiviación.

El precipitado es fundido produciéndose dos productos: barras de doré (20% oro, 80% plata) que son exportadas a refinerías en el exterior, y escoria de fundición (que consta principalmente de óxidos de metales y silica), esta escoria es depositada en la pila de lixiviación.

En la Figura 2.2 30 se presenta el diagrama de flujo del proceso de lixiviación en pilas, y en el Documento Anexo 2 6 se presenta el flujograma general detallado del proceso, incluyendo las operaciones unitarias.

Figura 2.2-30: Diagrama de flujo del proceso de lixiviación en pilas

Balance de Masa

El balance de masa del proceso de lixiviación en pilas comprende todo el sistema de lixiviación en pilas y la planta de procesamiento de la solución rica o planta de Merrill Crowe. Al sistema ingresa mineral para lixiviación, colas de flotación aglomeradas y reactivos. Dentro del sistema hay una serie de sub-productos, tales como las soluciones, que recirculan, y otros que se almacenan en la pila de lixiviación, tales como el mineral, los aglomerados y la escoria de fundición. Como salida del sistema se obtiene barras de dore (20% Au y 80% Ag). En la Figura 2.2 31 se muestra el balance de masa general del proceso de lixiviación en pilas y el detalle del balance de masa es presentado en la Tabla Anexa 2 13.

Figura 2.2-31: Balance de masa general del proceso de lixiviación en pilas

Balance de Masa	Sólidos	Solución	Pulpa o Mineral Húmedo		Comentarios
Descripción	Tonelaje	Flujo	Densidad	Pulpa	
Lixiviación en Pilas	(t/h)	(m3/h)	(% sólidos)	(t/h)	
Planta de trituración					
Mineral a lixiviación en Pilas	2,916.7		96%		
Sistema de Aglomeración					
Mineral de lixiviación derivado para aglomeración	833.3		96%		
Colas de Flotación con Mineral Aglomerado	1,028.3		91%		
Cemento Portland	1.3				
Pila de Lixiviaxión					
Mineral a lixiviarse	2,916.7				
Colas de flotación aglomeradas	195.0		75%		
Escoria de fundición	0.006		100%		

Balance de Masa	Sólidos	Solución	Pulpa o Mineral Húmedo		Comentarios
Descripción	Tonelaje	Flujo	Densidad	Pulpa	
Lixiviación en Pilas	(t/h)	(m3/h)	(% sólidos)	(t/h)	
Solución Pobre (solución Lixiviante)		3,201.0			Con una fuerza de 500 ppm de cianuro de sodio (NaCN)
Cianuro de sodio	1.7				
Cal	3.8				
Solución Rica		3,201.0			
Merrill Crowe					
Solución rica		3,201.0			
Tierra diatomea	0.010				Agente filtrante
Polvo de zinc	0.014				Agente precipitante
Borax	0.058				Fundente
Nitrato de Potacio	0.010				Fundente
Solución pobre		3,201.0			Recirculada a la pila para lixiviar el mineral
Barras de dore	0.007				20% Oro y 80% Plata

2.2.6.1.2 Proceso de Flotación

El proceso de flotación está basado en las propiedades superficiales de los sólidos, específicamente en la propiedad de adherencia de las partículas sólidas (minerales conteniendo oro y plata) a las burbujas de aire, de esa forma se concentran en la superficie del agua en forma de espuma, la cual es recuperada formando el concentrado el cual es el producto final para la venta.

Es importante recalcar que el proceso de flotación no contempla ninguna etapa de amalgación o procesamiento con mercurio, y que además las colas de flotación son ingresadas al sistema de pilas de lixiviación, para una extracción de los valores metálicos (oro y plata) remanentes. De esta forma se elimina la necesidad de tener una cancha de relaves o cancha de colas de flotación, y menos aun de tener la necesidad de descargar relaves al medio ambiente.

La concentración por flotación comprende las etapas de molienda, clasificación en hidro-ciclones, flotación del mineral, espesamiento, filtrado y secado.

Los productos del proceso son dos: el concentrado que es vendido a una fundición en el extranjero; y las colas, las cuales son también espesadas y filtradas, para ser aglomeradas con una parte del mineral de las pilas de lixiviación en donde son finalmente dispuestas para la recuperación del oro remanente.

En el proyecto Angostura, el proceso de flotación se iniciará en el año 3, tratando aproximadamente 5,200 toneladas por día de mineral. El mineral será molido a un tamaño de 106 micrones y tratado en el circuito de flotación para producir un concentrado de oro y plata. Las características del concentrado se detallan en la Tabla Anexa 2-14.

Preparación y Transporte del Mineral
La secuencia de preparación y transporte del mineral en el proceso de flotación es el siguiente:

- El mineral producto del minado será transportado por camiones hasta la ubicación de la planta de trituración y molienda (zona Armenia –ver detalle 2.2.6.2).

- La zona de la planta de trituración y molienda consta de una trituradora cónica primaria, dos trituradoras secundarias y cuatro trituradoras terciarias. El mineral para el proceso de flotación es triturado en campañas, en donde una de las trituradoras terciarias trabaja exclusivamente para el mineral de flotación, reduciéndolo hasta llegar a un tamaño del 80% pasante menor a 11 mm.

- El mineral triturado a 11 mm (5,200 toneladas por día) es molido a 106 micrones en un molino de bolas.

- Luego el mineral molido en pulpa es bombeado a la planta de procesos en la zona de Cristo Rey (ver detalle de localización en 2.2.6.2).

- En la planta el mineral (106 micrones) es concentrado a través del proceso de flotación.

- El concentrado es el equivalente al 10% en masa, y luego de ser filtrado será envasado en bolsas de 1.25 toneladas (big-bags), para ser transportado en camiones a puerto de embarque, y luego ser exportado. Las colas de flotación, equivalentes al 90% en masa del mineral a 106 micrones, son espesadas y filtradas. Las aguas son recirculadas de regreso al proceso de flotación, y las colas filtradas son aglomeradas con parte del mineral a 19 mm (20,000 toneladas).

- Este aglomerado se mezcla nuevamente con el resto del mineral a 19 mm (las otras 50,000 toneladas por día) para ser transportado a las pilas de lixiviación.

Es importante resaltar que las colas de flotación están contenidas en un sistema cerrado, aislado e impermeable como lo son las pilas de lixiviación, y no hay mercurio o amalgamación aplicado en ningún proceso del proyecto Angostura.

Criterios de Diseño
El diseño del proceso de flotación se basó en los criterios definidos por el plan de producción de mina y los parámetros de flotación determinados por las pruebas metalúrgicas conducidas en los Laboratorios G&T de Canada, SGS Lakefield de Sud-Africa y McClelland de Reno, Estados Unidos. Los criterios de diseño y los principales resultados del diseño del proceso de flotación se resumen en la Figura 2.2-32.

Figura 2.2-32: Parámetros de diseño para el proceso de flotación

Parámetro	Flotación
Tonelaje diario de mineral	5,200 tpd
Tipo de molino	5 x 7.5 m
Potencia del molino	3,728 HP
Tamaño de partícula (P80)	106 µm
Requerimiento de agua fresca	31 L/s
Producción de concentrado	520 tpd
Tiempo de flotación	25 minutos
pH	Natural (6-7)

Parámetro	Flotación
Reactivos	PAX, y MIBC
Tiempo de operación	13 años
Porcentaje de sólidos en molienda	55%
Porcentaje de sólidos en flotación	33%
Porcentaje de sólidos en concentrado	10%

Diagrama de Flujo

El mineral triturado a 11 mm es molido en un molino de bolas de 5 x 8 metros hasta una granulometría de 106 µm y clasificado en un "nido" de hidro-ciclones a un ritmo de tratamiento de 5,200 toneladas por día.

El mineral molido es transportado en pulpa (55% de sólidos) por tuberías e impulsado por bombas hasta la planta de procesos, en donde se hace primero la flotación gruesa a 33% de sólidos en 06 celdas de 50 m3c/u, para luego limpiar el concentrado en un tren de 04 celdas de 30 m3c/u, y las colas son barridas (Scavenger según su nomenclatura en Inglés) en 06 celdas de 50 m3c/u.

Los productos (concentrado y colas) son espesados y filtrados, y la solución recuperada es reciclada al proceso de flotación. El concentrado es embalado en bolsas de 1.25 toneladas para la venta en el exterior, y las colas de flotación son aglomeradas con mineral de lixiviación y depositados en las pilas de lixiviación para la recuperación del oro y plata remanentes en las colas.

El diagrama de flujo del proceso de flotación es presentado en la Figura 2.2-33 y en el Documento Anexo 2-6 se presenta el flujograma general detallado del proceso, incluyendo las operaciones unitarias.

Figura 2.2-33: Diagrama de flujo del proceso de flotación

Balance de Masa

El balance de masa del proceso de flotación comprende el sistema de molienda, flotación espesamiento y filtrado del concentrado y las colas de flotación, así como el proceso de aglomeración. Al sistema ingresa mineral para flotación, mineral de lixiviación para aglomeración y

reactivos. Dentro del sistema hay recirculación del agua. Y como salida del sistema está el concentrado, el cual es vendido a una fundición en el extranjero, y las colas de flotación aglomeradas que se almacenan en la pila de lixiviación. En la Figura 2.2-34 se muestra el balance de masa general del proceso de flotación y el detalle del balance de masa es presentado en la Tabla Anexa 2-15.

Figura 2.2-34: Balance de masa general del proceso de flotación

Balance de Masa	Sólidos	Solución	Pulpa o Mineral Húmedo		Comentarios
Descripción	Tonelaje	Flujo	Densidad	Pulpa	
Flotación	(t/h)	(m3/h)	(% sólidos)	(t/h)	
Planta de trituración y Molienda					
Mineral de flotación triturado	216.7		96%		Sulfuros de alta ley molidos a 106 micrones
Agua fresca		162			
Mineral de flotación molido	216.7		55%	393.9	
Flotación					
Agua fresca		144			
Mineral a flotar	216.7		33%	656.6	
PAX	0.01				PAX =Xantato Amilico de Potasio (Colector)
MIBC	0.01				MIBC = Metil Isobutil Carbinol (Espumante)
Concentrado	21.7		33%	65.7	
Colas de flotación	195.0		33%	590.9	
Manejo de Concentrados					
Concentrado en pulpa	19.5		33%	59.1	
Espesado de concentrado	19.5		55%	35.5	
Floculante	0.005				
Agua recirculada al sistema por espesamiento		24			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Filtrado de concentrado	19.5		90%	21.7	
Agua recirculada al sistema por filtrado		14			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Concentrado	19.5		90%	21.7	
Manejo de Colas de Flotación					Sistema de Aglomeración
Colas en pulpa	195.0		33%	590.9	
Espesado de las colas	195.0		55%	354.5	
Agua recirculada al sistema por espesamiento		236			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Filtrado de colas	195.0		75%	260.0	
Agua recirculada al sistema por filtrado		95			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Colas filtradas	195.0		75%	260.0	
Sistema de Aglomeración					
Mineral de lixiviación derivado para aglomeración	833.3		96%		

Balance de Masa	Sólidos	Solución	Pulpa o Mineral Húmedo		Comentarios
Descripción	Tonelaje	Flujo	Densidad	Pulpa	
Flotación	(t/h)	(m3/h)	(% sólidos)	(t/h)	
Colas de Flotación con Mineral Aglomerado	1,028.3		91%		
Cemento Portland	1.3				

2.2.6.2 Localización de las Instalaciones de Beneficio

Para la elección de la ubicación de las instalaciones de beneficio se tuvieron en la cuenta los siguientes criterios:

- Geología del área objetivo.
- Menor afectación del medio físico.
- Menor afectación sobre el medio biótico.
- Geotecnia del área objetivo.
- Viabilidad técnica y económica de la ubicación

2.2.6.2.1 Área de Trituración Primaria

El área de trituración y molienda se localizará en el sector denominado La Armenia, al costado NW del tajo. En el arreglo general presentado en el Mapa Anexo 2-7 se observa la localización del área de trituración y molienda respecto a la disposición general de la mina, y en el Mapa Anexo 2-42 y Mapa Anexo 2-43 se presenta el detalle de la localización de equipos y operaciones unitarias en sección perfil y de planta respectivamente.

La planta se localiza aproximadamente en las coordenadas norte 1.309.416 y este 1.131.028. Según el estudio realizado por la compañía consultora Geoblast, la amenaza geotécnica en esta zona es media, debido a las pendientes del terreno (entre 40-50 grados). A pesar de esto en el área no se observan fenómenos de remoción en masa debido a la protección de la cobertura vegetal. Geológicamente, estas instalaciones se localizarían sobre el Gneiss de Bucaramanga.

Según el EOT del Municipio de California, el área donde se ubicará esta estructura tiene una cobertura vegetal de rastrojos.

2.2.6.2.2 Lixiviación en Pilas

En el proyecto Angostura se tendrán dos pilas de lixiviación ubicadas en las quebradas Angosturas y Páez, ubicadas al norte y sur-este del tajo respectivamente. La localización de estas estructuras puede verse en el mapa general presentado en el Mapa Anexo 2-7.

Para la elección de las locaciones para las pilas de lixiviación se tuvo en cuenta la geología y el impacto sobre las corrientes de agua, para ello Greystar Resources LTD realizó una amplia investigación de campo que incluyó estudios geológicos, geotécnicos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidráulicos en la zona donde se van a construir las pilas de lixiviación. Estos estudios incluyeron la realización de la cartografía geológico-geotécnica de las zonas de Angostura y Páez, excavación de 76 calicatas, perforación de seis pozos, 37 pruebas de penetración dinámica ligera (DLP), 5 ensayos de penetración a gran escala (LPT) y 24 pruebas de carga puntual (PLT) distribuidas en las dos locaciones.

Pila de Lixiviación de Angostura
La pila de lixiviación de Angostura está ubicada al lado norte del tajo, y tendrá una capacidad de 140 millones de metros cúbicos ó 238 millones de toneladas, que se alcanzarán después de 10 años de operación.

Para la ubicación de esta estructura se tomó en cuenta la geología y el impacto sobre las corrientes de agua. Desde el punto de vista geológico esta localización permite la construcción de este tipo de estructuras con una menor amenaza de falla debido a la actividad reciente de los sistemas de fallas que se encuentran en la zona. Geotécnicamente, el nivel de fundación en esta zona es variable, desde 0.5m hasta 1.60 m. Según Bieniawski (1989) las rocas del basamento tienen una clasificación de R4 a R6 indicando que la roca posee una buena resistencia a la compactación. El ángulo de fricción para las rocas del basamento en el área de Angostura se determinó en 30°.

En la Figura 2.2 35 se muestran los de parámetros del análisis de estabilidad de los materiales que componen la pila de lixiviación de Angostura, en la Figura 2.2 36 se presentan los factores de seguridad obtenidos a partir del análisis de estabilidad y en la Figura 2.2 37 se presenta el esquema de una de las secciones de la pila de lixiviación analizadas de forma estática para el caso de un fallamiento circular de esta estructura.

Desde el punto de vista ambiental, la zona se localiza en la parte alta de la quebrada Angostura, por lo que el volumen de agua afectado por la presencia de esta estructura se minimiza. Además esta zona permite la construcción de canales perimetrales de derivación del agua de la quebrada Angosturas, lo que minimiza aún más el impacto sobre ésta. Según la zonificación de la cobertura vegetal del Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de California (EOT), esta zona corresponde a pajonales.

Pila de Lixiviación de Páez
La pila de lixiviación de Páez está ubicada al lado sur-este del tajo, y tendrá una capacidad de 80 millones de metros cúbicos ó 135 millones de toneladas, que se alcanzarán después de 4 años de operación.

Para la ubicación de esta estructura se tomó en cuenta la geología y el impacto sobre las corrientes de agua. Esta localización permite la construcción de este tipo de estructuras con una menor amenaza de falla debido a la actividad reciente de los sistemas de fallas que se encuentran en la zona. El nivel de fundación en esta zona varía desde 0.4 m hasta 1.60 m, y tiene una clasificación (Biewnsaky, 1989) de R4 a R6 indicando que la roca posee una buena resistencia a la compactación. El ángulo de fricción para las rocas del basamento en el área de Páez se determinó en 28°.

En la Figura 2.2 35 se muestran los parámetros del análisis de estabilidad de los materiales que componen la pila de lixiviación de Páez, en la Figura 2.2 36 se presentan los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad y en la Figura 2.2 38 se presenta el esquema de una de las secciones de la pila de lixiviación analizadas de forma pseudoestática para el caso de un fallamiento en bloque de esta estructura para la pila de lixiviación de Páez.

Desde el punto de vista ambiental, la zona se localiza en la parte alta de la quebrada Páez, por lo que el volumen de agua afectado por la presencia de esta estructura se minimiza y permite la construcción de canales perimetrales de derivación del agua de la quebrada Páez, lo que minimiza aún más el impacto sobre la misma. Según la zonificación de la cobertura vegetal del Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de California (EOT), esta zona corresponde a rastrojos y pajonales.

Figura 2.2-35: Parámetros del análisis de estabilidad de los materiales

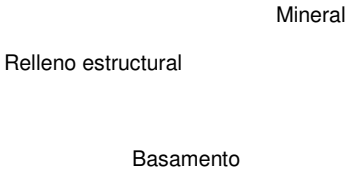
Material	γ total (kN/m3)	γsat (kN/m3)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (º)
Mineral	16.4	17.5	0	37
Relleno estructural Angostura	17.2	19.9	0	30
Relleno estructural Páez	17.2	19.9	0	30
Lecho Rocoso Angostura	24.2	24.7	100	30
Lecho Rocoso Páez	24.2	24.7	75	28

Figura 2.2-36: Factores de seguridad pilas de lixiviación

Sector	Sección Geotécnica Analizada	Condición	Caso	Factor de Seguridad	
				Estático	Pseudo Estático K=0.15
Angostura	Sección 1	Fase 1	Fallamiento Circular	1.79	1.14
			Fallamiento en Bloque	1.93	1.16
		Fase Final	Fallamiento Circular	1.87	1.15
			Fallamiento en Bloque	1.74	1.07
	Sección 2	Fase 1	Fallamiento Circular	1.81	1.15
			Fallamiento en Bloque	1.78	1.10
		Fase Final	Fallamiento Circular	1.92	1.21
			Fallamiento en Bloque	1.77	1.08
Páez	Sección 3	Local	Fallamiento Circular	1.69	1.06
		Global	Fallamiento en Bloque	1.64	1.00
	Sección 4	Local	Fallamiento Circular	1.63	1.05
		Global	Fallamiento en Bloque	1.66	1.00

Figura 2.2-37: Sección longitudinal de la pila de lixiviación de Angostura

Figura 2.2-38: Sección longitudinal de la pila de lixiviación de Páez



2.2.6.2.3 Planta de Procesos

La planta de procesos se ubica al lado este del tajo, y comprende la planta de precipitación con Oxido de Zinc (Merrill Crowe), la fundición, y la planta de flotación, así como las otras operaciones unitarias del proceso de flotación.

La planta de procesos se localiza en el sector conocido como Cristo Rey. La localización de la planta en perspectiva del mapa general puede ser apreciada en el Mapa Anexo 2-7. El detalle de la ubicación de las instalaciones internas y de las operaciones unitarias se presenta en el Mapa Anexo 2-41.

Desde el punto de vista geotécnico, esta zona posee una amenaza media, sin procesos erosivos o de remoción en masa visibles. Al igual que en las otras estructuras, el basamento rocoso lo conforma el Gneiss de Bucaramanga. Según el EOT de California, la cobertura vegetal de esta zona corresponde a pajonales.

2.2.6.3 Equipos, Instalaciones e Insumos

El listado de equipos, instalaciones e insumos de las plantas de beneficio y transformación de minerales incluye los procesos de lixiviación en pilas y de flotación.

2.2.6.3.1 Lista de Instalaciones

Las principales instalaciones de las plantas de beneficio y transformación de minerales incluyen:
Pilas de almacenamiento temporal de minerales (stock-piles) para lixiviación en pilas y para flotación.

- Planta de trituración y molienda.
- Oficina y casa de cambio de la planta de trituración y molienda.
- Bandas transportadoras.
- Pila de Lixiviación Angostura.
- Pila de Lixiviación Páez.
- Planta de tratamiento de excesos de aguas.
- Administración de planta de procesos.
- Almacén de reactivos.
- Laboratorio químico y metalúrgico.
- Cuarto de cambio de la planta de procesos.
- Planta “Merrill Crowe” (Precipitación con polvo de zinc).
- Sistema de tuberías para manejo de solución rica y solución pobre.
- Fundición.
- Planta de Flotación.
- Área de manejo de concentrados (espesadores y filtros).
- Área de manejo de colas de flotación (espesadores y filtros).
- Sistema de aglomeración.

2.2.6.3.2 Lista de Equipos

Los equipos de las plantas de beneficio y transformación están detallados en la Figura 2.2-39.

Figura 2.2-39: Lista equipos de la planta de beneficio y transformación de minerales del proyecto Angostura

Nombre de Equipo	Descripción	No. de Unidades	Potencia Instalada (kW)
Planta semi-mobil de trituración primaria	63” x 89” Trituradora Primaria	1	600
	Quebrador de roca hidraulica	1	112
	Alimentador (Apron Feeder)	1	450
Trituradora Secundaria de Cono	MP1000 (Estandar)	2	745
Trituradora Terciaria de Cono	MP1000 (Estandar)	4	600
Zaranda Secundaria	Banana 10’ x 24’	6	75
Banda transportadora	1524 mm x 99 m	1	450
Banda transportadora de pila de almacenamiento de alimentación	1524 mm x 152 m	1	600
Banda transportadora de pila de almacenamiento de sulfuros	914 mm x 87 m	1	75
Banda transportadora de sulfuros gruesos	914 mm x 51 m	1	55
Banda transportadora de oxidos	1067 mm x 96 m	2	150
Banda transportadora de alimento a zaranda terciaria	1067 mm x 23 m	2	30
Banda transportadora de oxidos y sulfuros	762 mm x 59 m	1	30

Nombre de Equipo	Descripción	No. de Unidades	Potencia Instalada (kW)
Banda transportadora de óxidos finos	762 mm x 22 m	2	18.5
Segunda banda transportadora de óxidos finos	1067 mm x 65 m	1	75
Banda transportadora de recirculación de óxidos y sulfuros	914 mm x 57 m	1	37
Segunda banda transportadora de recirculación de óxidos y sulfuros	762 mm x 20 m	1	30
Banda transportadora de óxidos y sulfuros de recirculación en ángulo elevado	914 mm x 38 m,	1	150
Banda transportadora de sulfuros para molienda	762 mm x 73 m	1	15
Banda transportadora para alimento del Molino de bolas	762 mm x 102 m	1	15
Banda transportadora del concentrado de flotación	457 mm x 62 m	1	7.5
Banda tubular # 1para la pila de lixiviación de Angostura	600 mm x 975 m	1	4300
Banda tubular # 2para la pila de lixiviación de Angostura	600 mm x 975 m	1	4300
Banda transportadora para la pila de lixiviación de Páez	1524 mm x 4390 m	1	7500
Banda transportadora de colas de flotación filtradas		1	30
Banda transportadora de las colas de flotación aglomeradas		1	150
Banda transportadora del tambor aglomerador		1	30
Bandas alimentadoras de la pila de almacenamiento de los sulfuros	1067 mm x 11 m	4	56
Bandas alimentadoras de la pila de almacenamiento de los óxidos	1524 mm x 12 m	6	112
Bandas alimentadoras de la trituradora terciaria	1524 mm x 9.3 m	4	112
Bandas alimentadoras de la pila de almacenamiento de la molienda	914 mm x 11 m	4	15
Bandas alimentadoras del concentrado	610 mm x 10 m	2	7.5
Molino de bolas	5 m x 7.5 m	1	3728
Nido de cyclones	eight by 20“cyclones	1	
Bomba alimentadora de cyclones	10 x 8	2	250
Bomba de Desplazamiento Positivo de pulpa		2	1400
Celdas de flotación gruesa	50 m3	6	75
Celdas de flotación de limpieza	30 m3	4	45
Celdas de flotación de barrido	50 m3	6	75
Espesador de concentrado de flotación		1	3
Espesador de colas de flotación	18 m diameter	1	6
Tambor de aglomeración		1	170
Filtros Prensa		2	300
Bombas de solución rica de la pila de lixiviación Angostura		5	350
Bombas de solución rica de la pila de lixiviación Páez		5	500
Bombas de solución rica de transferencia de la pila de lixiviación Páez		5	65
Bombas de solución pobre de la pila de lixiviación Angostura		5	650
Bombas de transferencia de solución pobre de la pila de lixiviación Angostura		5	700
Bombas de solución pobre de la pila de lixiviación Páez		5	1000
Bombas de transferencia de la solución pobre de la pila de lixiviación Páez		5	1000
Planta Merrill Crowe (Precipitación con Oxido de Zinc)		6	
Planta de preparación de floculante		1	
Planta de preparación de espumante		1	
Planta de preparación de colector		2	

Nombre de Equipo	Descripción	No. de Unidades	Potencia Instalada (kW)
Planta de preparación de cal		1	
Planta de preparación de cianuro		1	

2.2.6.3.3 Lista de Productos Químicos (reactivos)

Los productos químicos y sus respectivos consumos se detallan a continuación:

- 2,383 toneladas al mes de lechada de cal adicionada sobre la banda (Lixiviación).
- 1,033 toneladas al mes de cianuro de sodio (Lixiviación).
- 170 toneladas al mes de cemento portland. (Aglomeración).
- 7 toneladas al mes de tierra diatomea (Merrill Crowe).
- 10 toneladas al mes de polvo de zinc (Merrill Crowe).
- 42 toneladas al año de Borax (Fundición).
- 7 toneladas al año de Nitrato de Potasio (Fundición).
- 47 t/año de floculante (para espesadores).
- 235 toneladas al mes de cal (Aglomeración).
- 15 toneladas al año de reactivos PAX y MIBC (Flotación).
- PAX: Xanthato Amilico Potasico
- MIBC: Metil Ixobutil Carbinol

2.2.6.3.4 Lista de Consumibles y Otros Insumos

Los principales consumibles y otros insumos en la planta de beneficio y transformación de minerales se pueden encontrar listados en la Figura 2.2-40.

Figura 2.2-40: Lista de consumibles y otros insumos de la planta de beneficio y transformación de minerales del proyecto Angostura

Nombre del Producto	Cantidad	Unidad/Frecuencia
Bolas de Acero	280	t/mes
Tela de filtro	2.3	set/año
Manto de triturador primario (crusher mantle)	2	set/año
Concavo de triturador primario (concave)	2	set/año
Manto de trituradores secundarios (crusher mantle)	20	set/año
Funda de tazón de triturador secundario (bowl liner)	20	set/año
Paneles de malla de triturador secundario (screen panels)	8	set/año
Manto de triturador terciario (crusher mantle)	8	set/año
Funda de tazón de triturador terciario (bowl liner)	8	set/año
Paneles de malla de triturador terciario (screen panels)	2	set/año
Funda de recubrimiento interno de molino (mill liner)	1	set/año

2.2.6.4 Operaciones Unitarias

Las operaciones unitarias de la planta de beneficio y de procesamiento de minerales comprenden los procesos de lixiviación en pilas y de flotación, y se detallan a continuación.

2.2.6.4.1 Trituración

El mineral proveniente del tajo es llevado hasta la trituradora primaria en camiones de 185 ton. Allí el material es triturado hasta un tamaño de 110 mm, luego es pasado a la trituradora secundaria (38 mm) y a la triturada terciaria hasta que el mineral queda reducido a un tamaño de 19 mm. El mineral de flotación es tratado en campañas de trituración de 1 x 1.5 días. Esta mena pasa por las tres etapas de trituración, en donde una de las trituradoras terciarias, dedicadas exclusivamente a este tipo de mineral, la reduce a un tamaño de 11 mm.

2.2.6.4.2 Lixiviación

El mineral ya triturado es transportado por bandas transportadoras hasta la pila de lixiviación, donde camiones de 185 toneladas de capacidad lo reciben y apilan en bancos de 8 metros de alto. Entonces el mineral es sometido a un ciclo de lixiviación con solución cianurada por un período de 60 días, por medio de un sistema de goteo, similar al que se utiliza en agricultura. El cianuro que percola por el mineral ya apilado se compleja con el oro y la plata del mineral y este es colectado por tuberías de recolección que llevan la solución rica en metales hasta la poza de operaciones. Desde allí la solución es llevada por tuberías hasta la planta de Merrill Crowe.

Ingresos

- 50,000 t/d transportados por banda (faja) a 19 mm. 20,000 toneladas de 19 mm derivados para ser aglomerados con las colas de flotación (4,680 t/d a 106 µm) con cal y cemento.
- 2,383 t/mes de lechada de cal adicionada sobre la banda.
- 170 t/mes de cemento portland.
- 3,201 m3/hr de solución cianurada a 500 ppm de NaCN, en constante re-circulación.
- 4.2 t/mes de escoria de fundición.

Salidas

- 3,201 m3/hr de solución conteniendo oro y plata para ser tratada en la planta de cementación por zinc (Merrill Crowe), y luego ser re-circulada a la pila.

2.2.6.4.3 Precipitación con Zinc

El oro y la plata son recuperados de la solución rica, usando el proceso “Merrill Crowe” (precipitación de los metales preciosos utilizando polvo de zinc). La solución es bombeada a un filtro clarificador para eliminar los sólidos en suspensión con ayuda de un medio filtrante (tierra diatomea). Luego la solución clarificada es bombeada a una torre de de-aireación para reducir los niveles de oxígeno disuelto en la solución. Una vez de-aireada la solución, se añade polvo de zinc para precipitar el oro.

La reacción es inmediata dentro de las tuberías. El precipitado es colectado por medio de unos filtros prensa, cuando estos llegan a un nivel de saturación (indicado por la presión interna) se des-compresiona el filtro, se abre y se colecta el precipitado. Luego a la solución pobre se le agrega NaCN para incrementar la fuerza a 500 ppm de NaCN y se bombea de regreso a la pila

Ingreso:

- 3,201 m3/hr de solución rica, en constante re-circulación.
- 7 t/mes de tierra diatomea.
- 10 t/mes de polvo de zinc.

Salida:
- 3,201 m3/hr de solución pobre a 500 ppm de NaCN y pH mínimo a 10.5, para ser bombeada a la pila.

2.2.6.4.4 Fundición

El precipitado producto del proceso de "Merrill Crowe" es fundido en un horno eléctrico de inducción con ayuda de fundentes (Borax y Nitrato de Potasio) para producir barras Doré. Los gases y material particulado es colectado en un sistema de colección de gases y en una casa de mangas. Las barras de doré serán retiradas del proyecto vía helicóptero, para luego ser on exportadas vía aérea.

Ingreso:
- Precipitado de Merrill Crowe
- Borax y Nitrato de potasio (fundentes), 50 toneladas mensuales.

Salida:
- 5 t/mes de Dore (Oro y Plata)
- 4.2 t/mes de escoria que se envía a la pila de lixiviación.

2.2.6.4.5 Molienda

Los sulfuros provenientes de la trituradora terciaria son transferidos a un molino de una sola línea de bolas de 5 m diámetro y 7,5 metros de largo, en donde el mineral es molido hasta 106 µm. Luego la pulpa resultante es bombeada a un "nido" de hidro-ciclones para su clasificación por tamaños. El material más grueso de 106 micrones es recirculado y el material a menor tamaño de 106 micrones es bombeado en pulpa a la planta de flotación. La molienda es a 55% de sólidos.

2.2.6.4.6 Flotación de Sulfuros

El producto de la molienda y clasificación con hidro-ciclones pasa al sistema de flotación que comprende: Flotación gruesa en un tren de 06 celdas de 50 m3 c/u (rougher), luego pasa a una limpieza de colas (barrido) en un tren de 6 celdas de 50 m3 c/u (scavenger). El concentrado grueso es limpiado en un tren de cuatro celdas 30 m3 c/u (cleaner). Las colas de la flotación gruesa y de barrido pasan al espesador de colas y el concentrado de la limpieza pasa a un espesador de concentrados. Las celdas de flotación usan PAX y MIBC como aditivos. La flotación es a 33% de sólidos.

2.2.6.4.7 Manejo de Concentrados

El concentrado de la flotación (520 t/d) es espesado de 33% de sólidos a 55% de sólidos y luego es filtrado hasta un 10% de sólidos. El agua de filtrado se regresa al sistema de molienda y flotación.

Manejo de Colas de Flotación, Aglomeración
Las colas de flotación (4,680 t/d) son espesadas hasta un 60% de sólidos y luego mezcladas con 20,000 toneladas de mineral que va a las pilas de lixiviación. La mezcla se aglomera usando cal (235 t/mes) y cemento Portland (170 t/mes) para luego ser enviada por medio de bandas a combinarse con el resto del mineral que va a las pilas de lixiviación (50,000 t/d).

Ingresos:
- 5,200 t/d de mineral de sulfuros.
- Agua fresca para la molienda y flotación 31 l/s.

- 47 t/año de floculante (para espesadores).
- 20,000 t/d de mineral que va a las pilas de lixiviación.
- 235 t/mes de cal.
- 170 t/mes de cemento Portland.
- 15 t/año de reactivos de flotación (PAX, MIBC y Aero 208).

Salidas:

24,680 t/d de material aglomerado.

2.2.6.5 Manejo de Efluentes (Vertimientos) del Proceso y Domésticos

Las aguas de procesos y efluentes domésticos se clasifican en las siguientes categorías, según su tratamiento:

- Aguas de derivación
- Aguas domesticas
- Aguas de procesos
- Aguas de contacto

2.2.6.5.1 Aguas de Derivación Alrededor de Instalaciones

Las aguas de lluvias y las escorrentías naturales son derivadas alrededor de las instalaciones y dirigidas hacia las quebradas, para que continúen su curso natural y no entren en contacto con las superficies frescas del mineral o del material del depósito de estéril, o el material de fuentes prestadas usadas para las construcciones. Los sistemas de derivación de aguas han sido diseñados de acuerdo a la data histórica de escorrentías, la data histórica de escorrentía, y con capacidad para eventos de 100 años. Los principales sistemas de derivación de aguas son:

- Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor del depósito de estériles.
- Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor del tajo abierto.
- Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor de las pilas de lixiviación.

Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor del depósito de estériles.

Tres canales de derivación de aguas serán construidos para captar y desviar las aguas de escorrentía del vertedero del área del depósito de estériles Móngora, evitando así su contacto con cualquier agente de la operación minera, y descargando directamente en la quebrada Móngora. En la Figura 2.2 41 se muestra el detalle de los canales, junto con las áreas que contribuyen. En la Figura 2.2 42 se muestran las principales características de diseño de los canales. Todas las aguas desviadas continuarán su recorrido aguas abajo hasta confluir en la quebrada Móngora.

Figura 2.2-41: Parámetros de diseño de canales – deposito de estériles "Móngora"

Figura 2.2-42: Canales de derivación de aguas superficiales – Deposito de estériles "Móngora"

Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor del tajo abierto

El Tajo del proyecto Angostura está situado entre las pilas de lixiviación de Páez y Angostura. Su límite natural es la quebrada de Angostura hacia el noroeste y la quebrada Páez hacia el sur y sureste.

La captación de las escorrentías superficiales del tajo se realiza mediante cinco canales principales, que se encuentran en el perímetro del tajo. En la Figura 2.2-43 se puede observar la ubicación del sistema de drenaje, en color purpura se muestran las alcantarillas. También se incluyen nueve alcantarillas a lo largo de las carreteras que unen el tajo con la pila de lixiviación de Angostura, el área de trituración primaria, y el taller de camiones. En la Figura 2.2-44 se muestran las principales características de diseño del sistema.

Figura 2.2-43: Canales de derivación en el tajo

Figura 2.2-44: Parámetros de diseño de canales y alcantarillas del tajo

Sistemas de derivación de aguas superficiales alrededor de las pilas de lixiviación.
Se han ubicado los canales de derivación de aguas de escorrentía a lo largo de la plataforma perimetral de las pilas de lixiviación. Dichos canales se construirán sobre una plataforma que sirve a la vez para ubicar el acceso perimetral de servicio, la plataforma de anclaje de la geomenbrana de la pila y la berma perimetral en cada una de las pilas de lixiviación, mostradas en la Figura 2.2-45 y la Figura 2.2-46.

Figura 2.2-45: Sistema de drenaje de aguas superficiales de la pila de lixiviación de Angostura

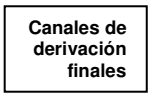
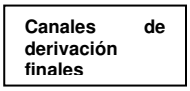
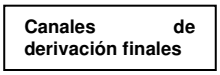


Figura 2.2-46: Sistema de drenaje de aguas superficiales de la pila de lixiviación de Páez





El diseño de dichos canales de derivación de las pilas de lixiviación de Angostura y Páez, consideró las cuencas correspondientes de las áreas contribuyentes y los perfiles longitudinales de pendientes de la plataforma perimetral (ver sección típica del canal en Figura 2.2-47), así como los

periodos de retorno de tormentas que se muestran en la Figura 2.2-48. Debido a que estos canales serán permanentes, el recubrimiento superficial estará hecho con cemento y los caudales de agua transportados serán vertidos en las estructuras de desviación propuestas aguas abajo. En la Figura 2.2-49 se presentan la descripción de los canales de derivación de las pilas de lixiviación, para un retorno de tormentas máximo de 500 años.

Figura 2.2-47: Sección transversal típica del canal de derivación y acceso de servicio para ambas Pilas de Lixiviación

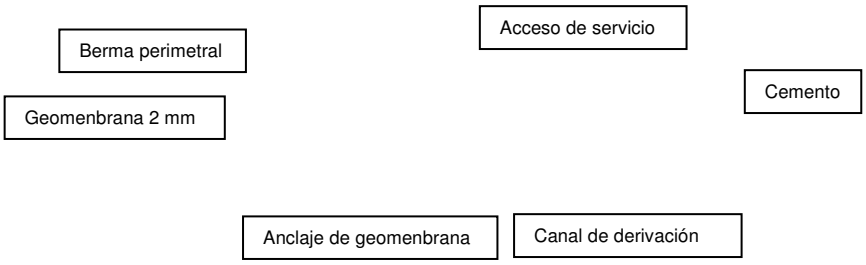


Figura 2.2-48: Parámetros de diseño de canales de pilas de lixiviación

Figura 2.2-49: Descripción de los canales de derivación de las pilas de lixiviación

Característica	Angostura - Canal Oeste	Angostura – Canal Este	Páez – Canal Oeste	Páez- Canal Este
Longitud	1,320	2,950	2,130	1,770
Máxima gradiente	48.0%	47.9%	36.6%	40.0%
Mínima gradiente	1.0%	1.0%	1.2%	1.5%
Tipo de sección	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal	Trapezoidal
Ancho de la base (m)	0.6 – 1.2	0.6 – 1.8	0.6 – 1.2	0.6 – 1.0
Altura de canal (m)	0.6 – 0.8	0.6 – 1.4	0.6 – 1.2	0.6 – 1.0
Tipo de revestimiento	Cemento con roca	Cemento con roca	Cemento con roca	Cemento con roca
Ancho de revestimiento (m)	0.25	0.25	0.25	0.25

2.2.6.5.2 Aguas Domesticas

Las aguas domésticas producto de las actividades humanas (campamento, oficinas, cocina) serán tratadas antes de ser derivadas al medio ambiente por medio de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional.

2.2.6.5.3 Aguas de Procesos

Las aguas de procesos se clasifican en dos grupos:

- Climáticamente dependientes.
- Climáticamente no dependientes.

Las aguas climáticamente dependientes son:

- Las soluciones de las pilas de lixiviación
- Las aguas de riego de caminos para supresión de polvos.
- Las escorrentías naturales de no contacto derivadas alrededor de las pilas de lixiviación, deposito de estériles, y el tajo
- Las aguas de contacto generadas al contacto con el depósito de estériles y al contacto con el tajo.

Las aguas climáticamente no dependientes incluyen:

- Las aguas de los procesos (molienda, flotación, sedimentación, filtración).
- Las aguas de uso domestico (oficinas, comedores, campamento, casas de cambio).

En el caso de las aguas climáticamente dependientes (soluciones de las pilas de lixiviación), estas son recirculadas en el sistema de las pilas de lixiviación. No existen descargas de estas aguas, para esto se han diseñado las pozas de solución con dimensiones suficientes para almacenar todas las aguas que necesite el proceso, incluyendo eventos de lluvias. Solamente en casos de lluvias muy fuertes se generarán aguas de exceso. En el caso de generarse aguas de exceso, estas serán tratadas en la Planta de tratamiento de aguas de exceso ó “EWTP” por sus siglas en Ingles “Excess Water Treatment Plant”.

En la planta de tratamiento de aguas de exceso “EWTP” se destruye el cianuro (oxidación) hasta los niveles permisibles y se precipitan los metales que están por encima de los niveles permisibles disueltos en la solución, para separarlo de las aguas, y poder descargar el agua de exceso bajo los niveles permisibles. El lodo de metales es depositado en la pila de lixiviación en zonas que ya no se encuentran bajo lixiviación. La pila de lixiviación es un sistema aislado que cuenta con una capa impermeable de geomembrana, por lo que el depósito de los lodos entra a un sistema controlado y aislado del medio ambiente.

En el caso de las aguas climáticamente no dependientes de los procesos, estas son re-circuladas al 100% dentro del mismo proceso.

Las aguas de contacto son también reutilizadas después de ser tratadas (neutralizadas – control de pH) en una planta de tratamiento de aguas acidas o AWTP por sus siglas en Ingles (Acid Water Treatment Plant) ubicada al pie del tajo. Estas aguas son reutilizadas en el sistema de operaciones, ya sea para control de polvos en los caminos de accesos o de acarreo, o para la reposición requerida en el proceso de flotación.

En el caso de las aguas de uso doméstico, estas serán abastecidas por agua fresca, la cual serán tratadas para su uso y luego tratadas antes de ser devueltas al medio ambiente.

Demanda de Agua
La demanda de agua se determina a través de los criterios de diseño, estándares, pruebas de laboratorio y simulaciones.

- En el caso de las aguas de procesos o agua para mina, estas están basadas en pruebas de laboratorio y estándares de los procesos.

- En el caso de las aguas para uso domestico estas son determinadas de acuerdo a los consumos por persona por día, según estándares, el número de personas y el tiempo de permanencia en la mina (horario de trabajo).

- En el caso de las pilas de lixiviación, estas son determinadas a través de simulaciones dependientes de los planes de producción, las propiedades del mineral (humedades características, densidad y ciclo de lixiviación requerido por cada tipo de mineral), del tipo de riego, de las precipitaciones y evaporaciones, de factores de evaporación, de las dimensiones preliminares de las pozas, y el almacenamiento inicial en ellas. Las simulaciones dan como resultado la cantidad de agua de reposición necesaria para cubrir las pérdidas por evaporación y por la humedad retenida en el mineral apilado para cada caso de las variables antes mencionadas. Es por ello que se toman percentiles para las simulaciones.

- En el caso de la determinación de la demanda de las aguas del proceso de lixiviación en pilas, estas demandas y las simulaciones son explicadas en la siguiente sección de Balance de Aguas y los resultados a percentil 95 (condiciones de mayor evaporación y mínima precipitación) son presentados para determinar los requerimientos.

Con dichos criterios se determinaron las siguientes demandas de agua Con dichos criterios se determinaron las siguientes demandas de agua

- Proceso de Flotación (empezando en el año 03), de 32 a 48 m3/h. Detalle del cálculo anual es presentado en el Tabla Anexa 2-20

- Riego de caminos para supresión de polvos, entre 0 hasta 67 m3/h.

- Aguas de uso domestico (oficinas, comedor, campamento, casas de cambio), 30 m3/h.

- Equipos de planta de proceso de lixiviación y agua contra incendio, entre 4 a 8 m3/h.

- Proceso de Lixiviación. Las demandas en la pila de lixiviación consisten en las aguas de reposición necesarias para cubrir las pérdidas por evaporación y por la humedad retenida en el mineral apilado. Generalmente las demandas caen a cero en las temporadas húmedas de cada año, y ascienden a picos que se mantienen por 2 ó 3 meses en promedio durante los meses más secos del año. La Figura 2.2-50 se muestra una situación típica.

Figura 2.2-50: Situación típica de demanda de agua de las pilas de lixiviación

En el caso de las demandas máximas determinadas por las simulaciones en las pilas de lixiviación, estas son determinadas por el percentil 95%, empezando alrededor de 90 m3/h en el 1er año del proyecto y suben entre 150 y 185 m3/h hasta el 9no año, descendiendo luego a menos de 100 m3/h hasta el año 13, luego de este año no se esperan demandas. En el 5to año se presenta un pico de 220 m3/h debido a la entrada en operación de la pila de Páez. Las variaciones de demanda máxima son presentadas en la Figura 2.2-51.

Figura 2.2-51: Demanda de agua en las pilas de lixiviación, en percentiles

Balance de Agua

El balance de agua integra los flujos de procesos en las instalaciones, los efluentes, los flujos de escorrentías derivados y los flujos por los cauces de las quebradas Páez y Angostura. El balance de agua se ha realizado a escala de tiempo mensual y ha empleado 100 series sintéticas como datos de entrada. El balance considera el crecimiento de instalaciones y la variación de sus demandas a lo largo de la vida del proyecto. Las componentes del balance de agua fueron las siguientes:

- Demandas de aguas para la mina y procesos;
- Balance de aguas de las pilas de lixiviación;
- Flujos del desagüe y del túnel de drenaje del tajo;
- Flujos efluentes por la base del depósito de Móngora;
- Escorrentías de aguas de contacto y de no contacto; y
- Flujo del valle en las quebradas Angosturas y Páez.

El procedimiento de cálculo siguió las siguientes etapas:

- Evaluación de las demandas de agua climáticamente independientes;
- Evaluación de las demandas climático dependientes que comprende el balance de agua de las pilas de lixiviación y la demanda para supresión de polvos de caminos;
- Evaluación de los efluentes de aguas ácidas del tajo y del depósito de estériles, potencialmente reutilizables luego de un tratamiento;

- Evaluación de los flujos de oferta potenciales de agua fresca en las quebradas Angostura y Páez;
- Balance de aguas integral para determinar la demanda de agua fresca externa a las quebradas Angosturas y Páez; y
- Evaluación de aprovechamientos con flujo directo o regulado para cubrir la demanda de agua fresca.

La filosofía de trabajo para el manejo de agua considera los siguientes puntos para el balance de agua:

- Los puntos de captación de aguas frescas en las quebradas Angosturas y Páez se ubican en los extremos aguas abajo, en los límites de propiedad;
- Las escorrentías naturales de no contacto serán derivadas alrededor de las instalaciones a través de canales de derivación para que no entren en contacto con las instalaciones y continúen su recorrido natural. Estas aguas y los canales de derivación fueron explicados en más detalle en la sección 2.2.6.5.1.
- Las aguas de contacto en las áreas del depósito de estériles de Móngora y del tajo serán reunidas en un punto contiguo al borde inferior del tajo, donde se ubicará la planta de tratamiento de aguas ácidas (AWTP). Desde ahí las aguas tratadas serán bombeadas hacia la planta de procesos o descargadas al medio ambiente. Las aguas ácidas del depósito de Móngora serán conducidas por tuberías y bombeo hacia dicho punto.
- Las escorrentías en las áreas de la planta, trituradora y taller se consideran de contacto, pero poco afectadas, tal que después de un tratamiento pasivo pueden retornarse a los cauces naturales cercanos.
- Las pilas de lixiviación Angostura y Páez se manejarán de manera conjunta para aprovechar los excedentes de Angostura para cubrir las demandas en Páez. Esta situación se produce por las condiciones del desarrollo previsto de las pilas, con una etapa intercalada de suspensión de lixiviación en Angostura e inicio de funcionamiento en Páez.
- Las aguas de exceso, que se pudieran generar por exceso de lluvias sobre las pilas de lixiviación serán tratadas en la planta de tratamiento de exceso de aguas (EWTP), ubicada en la planta de procesos, para su detoxificación antes de ser descargadas al medio ambiente.
- El orden de prelación para cubrir las demandas del proyecto es el siguiente:
  - Cobertura con agua fresca de las demandas de consumo humano
  - Recirculación del agua del proceso, recuperada de los procesos de espesamiento y filtración, para la molienda y flotación.
  - Empleo de aguas ácidas tratadas para cubrir las demandas de lavado, inodoros, lavado de equipos y supresión de polvos de caminos;
  - Empleo de aguas ácidas tratadas para cubrir las demandas de la concentradora y de las pilas de lixiviación;
  - Empleo de agua fresca de las captaciones directas en Angostura y Páez; y
  - Empleo de agua fresca proveniente de otras fuentes adicionales, en principio planteadas como las provenientes del embalse en la quebrada El Salado.

Demanda de agua para la mina y procesos
El agua doméstica para campamentos, talleres (Mina-Taller de camiones y Mina-Casa de cambio de operadores camiones) y oficinas, fueron estimadas en 30 m3/h.

El agua para la planta concentradora es variable a lo largo de la vida del proyecto, creciendo de 0 a 48 m3/h del 2do al 14vo año y bajando a 32 m3/h 15to año. Y el agua para la planta hidrometalúrgica (sin considerar las reposiciones de agua para las pilas, o el agua utilizada en preparación de la solución cianurada) y otros consumos, oscila entre 3 m3/h el primer año, se mantiene en 6 m3/h del 2do al 11er año, y desciende paulatinamente a 0 en el año 15to. Detalle de las demandas anuales se presentan en el Anexo 2.4.1.

Balance de aguas para las pilas de lixiviación
Las pilas de lixiviación debido al tipo de disposición y el área que representan son susceptibles a la cantidad de precipitación que se pueda presentar en la zona.

Al ser un sistema cerrado, la solución del proceso de lixiviación es recirculada. El proceso de lixiviación en pilas usa la misma solución para lixiviar una vez que se extrajo el oro por el proceso de precipitación con polvo de zinc (proceso Merrill Crowe). Las pérdidas por evaporación son mínimas en comparación con los efectos de las lluvias sobre la pila de lixiviación. En épocas de lluvia el sistema puede generar agua de exceso, la cual es descargada al medio ambiente una vez tratada (eliminando el cianuro y metales presentes por encima del nivel permisible). En épocas secas el sistema puede generar demanda de agua fresca.

Para determinar las posibles demandas y/o excesos de agua de las pilas de lixiviación, se utilizo la data histórica de precipitación de la estación meteorológica Vivero-Suratá y la data histórica de evaporación de la estación meteorológica de Berlín. Con dicha información histórica, más los parámetros de diseño (parámetros presentados en Tabla Anexa 2-21) se realizan series que simulan el balance de agua en varios niveles de percentiles (probabilidades). Estos percentiles van desde la simulación de épocas secas continuas hasta la simulación de épocas de mucha precipitación continua.

Para la determinación de la demanda de agua de las pilas de lixiviación se utilizo el percentil 95 de las series de simulación de épocas secas continuas. Y para la determinación del exceso de agua de las pilas de lixiviación se utilizo el percentil 95 de las series de simulación de épocas lluviosas continuas. Al utilizar los percentiles 95, se diseña las plantas de tratamiento de agua de exceso a la máxima capacidad posible, y se determina la cantidad de agua máxima a requerirse si una serie de épocas secas acontece, de esta manera se asegura la capacidad de tratamiento de agua de exceso, pero también la continuidad de las operaciones. Ese nivel de riesgo, percentil 95, es equivalente al que se consigue con eventos de 332 años de periodo de retorno en una representación de procesos independientes y estacionarios.

Los excesos de agua determinados a diferentes percentiles se presentan en la Figura 2.2-52 para las pilas de lixiviación de Angostura y Páez. Con ella se determina la capacidad máxima de tratamiento de las plantas “EWTP” o plantas de tratamiento de aguas de exceso.

Figura 2.2-52: Máxima descarga de las pilas de lixiviación, en percentiles

La capacidad de la planta de tratamiento de exceso de aguas es de 600 m3/hr con lo que se asegura que aún en las épocas de máxima lluvia se tendrá capacidad de tratamiento.

Durante épocas secas se genera demanda de agua. El mineral que se coloca en la pila de lixiviación ingresa con un 4% de humedad y durante los 60 días de lixiviación el mineral se mantiene a un porcentaje de humedad de 14.5%, después de la lixiviación la humedad retenida es de 7.7% hasta que se drena completamente la pila de lixiviación llegando hasta niveles de retención especifica entre 4 y 5% de humedad. Junto con el tonelaje de mineral puesto en las pilas de lixiviación, y simulando las series de comportamiento de la pila en épocas secas, se pueden determinar las máximas demandas por percentiles.

Flujos del desagüe y del túnel de drenaje del tajo

Los flujos de desagüe del tajo se componen de las escorrentías en el tajo y de las filtraciones a través de las paredes del mismo. En esta aproximación inicial las filtraciones de agua subterránea fueron calculadas utilizando la fórmula de Dupuit-Forcheimer, en función del nivel inicial de la napa freática y los diferentes niveles del fondo del tajo a lo largo del proyecto. La conductividad hidráulica fue estimada entre 0.003 a 0.03 m/d en relación a la conductividad hidráulica de los gneiss, pórfidos y rellenos de brechas presentes. Según esta aproximación fueron estimados flujos crecientes a lo largo del tiempo de 2 a 45 L/s (7.2 a 162 m3/h) notándose marcados incrementos en los flujos de filtraciones entre los años 2do al 6to y entre los años 12do al 16to como reflejo de los incrementos en las tasas de excavación y descenso del fondo del tajo durante esos años.

Flujos de efluentes de contacto en el depósito de estériles

Para estimar los efluentes de contacto en el depósito de estériles de Móngora durante la operación de la mina fue aplicado el modelo unidimensional de flujo no saturado HYDRUS-1D del U.S. Salinity Laboratory el cual es ampliamente aceptado. La distribución de tamaño del material

depositado fue estimado como constituida por 60% de bloques a gravas, 30% de arenas a limos y 10% de arcillas.
La condición no permanente fue representada usando intervalos mensuales en los 17 años de operación, considerando el cambio de geometría del depósito de estériles. Los flujos efluentes fueron calculados multiplicando las salidas del modelo unidimensional por la extensión variable de la base del depósito a lo largo del tiempo.

Demanda total
La demanda total resulta de añadir a las demandas de agua de reposición de las pilas de lixiviación las demandas de agua potable (35 m3/h), de la concentradora (32 a 48 m3/h), demandas menores del proceso hidrométrico (4 a 8 m3/h) y riego de caminos para supresión de polvos (0 a 67 m3/h). Estas demandas no son dependientes del clima, a excepción de la última. En la Figura 2.2-53 se observan estas demandas en el límite inferior del gráfico de percentiles.

Figura 2.2-53: Simulación de demanda total del proyecto Angostura, en percentiles

Las demandas pico del percentil 95% parten de un mínimo en los primeros años del proyecto (175 m3/h), incrementándose al entrar en operación la planta concentradora a partir del 3er año (340 m3/h), creciendo al año 6 (385 m3/h), manteniéndose hasta el año 9 (alrededor de 350 m3/h) y descendiendo para el resto del proyecto, con una disminución marcada en el año 13 (160 m3/h), terminando en alrededor de 135 m3/h para los últimos años hasta el año 17.

Resultados
El balance de agua fue ejecutado cubriendo las demandas según el orden de prelación indicado en esta misma sección unos párrafos arriba. Las dimensiones y pronósticos de diseño recomendados están basados en el valor superior del percentil del 95% durante la vida del proyecto. Para el caso, el valor superior del percentil de 95% implica que hay un 5% de riesgo de falla en los 17 años de

vida del proyecto. Ese nivel de riesgo es equivalente al que se consigue con eventos de 332 años de periodo de retorno en una representación de procesos independientes y estacionarios.

En general se aprecian las siguientes condiciones en los resultados:

- Las demandas son muy dependientes de la oscilación climática anual bimodal que intercala las temporadas secas y húmedas, debido a que las demandas máximas de agua de reposición para las pilas doblan las demandas casi constantes de la planta concentradora. Las demandas de reposición para las pilas son máximas en las temporadas secas del año cuando las ofertas de agua fresca de la red de drenaje natural es mínima.
- A lo largo de la vida del proyecto las demandas disminuyen debido a que las extensiones de las pilas de lixiviación son cada vez mayores permitiendo capturar mayores volúmenes de agua pluvial.
- Por el contrario con la mayor extensión de las pilas y la mayor captura de agua pluvial, conforme se desarrolla el proyecto crecen los volúmenes de descarga desde el sistema pilas-pozas.
- Considerando las limitaciones de agua explotable permitida, se necesita una fuente de aprovisionamiento de agua adicional a las quebradas Angosturas y Páez.

En la Figura 2.2-54 se presentan los valores máximos, promedio y mínimos de demandas y descargas para las temporadas húmedas y temporadas secas. Los balances para las temporadas húmedas son presentados en el Documento Anexo 2-7, Documento Anexo 2-8 y Documento Anexo 2-9 para los valores máximo, promedio y mínimo respectivamente. Y los balances para las temporadas secas son presentados en el Documento Anexo 2-10, Documento Anexo 2-11y Documento Anexo 2-12 para los valores máximo, promedio y mínimo respectivamente.

Figura 2.2-54: Resultados de balance de aguas para temporadas húmedas y secas, en m3/hr

Embalse y Captaciones de Agua

Para suplir las necesidades de agua fresca del proyecto minero, se requiere captar agua de las quebradas Angosturas y Páez; y adicionalmente del embalse de agua. El valle de la quebrada El Salado, localizado en el municipio de Vetas ha sido seleccionado como el sitio adecuado para construir dos reservorios separados y capturar en ellos la escorrentía de la cuenca.

El régimen hidrológico en la vecindad del proyecto puede no ser suficiente para abastecer la máxima cantidad requerida el 100% del tiempo, por lo que el embalsamiento de agua ha sido adoptado como una medida de seguridad.

- Volumen de Agua Útil Requerido:

El volumen útil requerido a partir de los embalses de agua para el proyecto minero según el percentil 95% superior, alcanza el extremo aproximado de 1 millón de m3 en el año 3ro, coincidente con la entrada en operación de la planta concentradora (Proceso de Molienda, flotación y producción de concentrado de oro y plata). En los años previos e inmediatos posteriores, el volumen requerido es aproximadamente el 60% del máximo. Según pasan los años el volumen requerido disminuye debido al crecimiento de las áreas de las pilas de lixiviación que capturarán progresivamente más agua pluvial para compensar las pérdidas por humedad retenida en el interior de las pilas. Los volúmenes requeridos disminuyen progresivamente desde el año decimo, hasta el año 14, a partir del cual no se espera necesitar de agua proveniente de los embalses (ver Figura 2.2-55). El volumen máximo respecto al rendimiento promedio de El Salado a la altura del eje de las presas es aproximadamente 15%, es decir del mismo orden que la concesión estimada para la toma directa en Angosturas y Páez.

Figura 2.2-55: Volumen necesario. Percentiles de no excedencia

Una evaluación preliminar del volumen "muerto" requerido para el 3er año, indica que este no será superior a 0.05 millones de m3 (ver Figura 2.2-55). Para los años posteriores puede permitirse un volumen "muerto" mayor porque el volumen útil requerido es menor, el cual disminuye a un ritmo mayor que el crecimiento del volumen "muerto".

- Fuentes de Suministro

Como fuentes más cercanas de agua el proyecto minero utilizará la captación directa a partir de los cauces de las quebradas Angosturas y Páez. La Tabla Anexa 2-6, Tabla Anexa 2-7 y Tabla Anexa 2-8 se presenta el cálculo de caudales ecológicos, y la información hidrométrica de las cuencas en mención, así como el cálculo de los caudales ecológicos para cada una de ellas. Las coordenadas de captación son las siguientes:

Quebrada Angosturas:

ESTE: 1,130,334; NORTE: 1,308,548

Quebrada Páez:

ESTE: 1,130,360; NORTE: 1,307,908

Para el caso del embalsamiento de agua, en la cuenca de la quebrada El Salado se requerirán dos embalses, el primero sobre el cauce principal de la quebrada El Salado, afectando un área de 7.4 hectáreas, con altura de dique de 30 m con la cresta a 3,376 msnm, un volumen de dique de 245,200 m3 y una capacidad de almacenamiento de agua de 600,500 m3. El segundo embalse sobre la laguna Pajarito, al este del embalse sobre la quebrada el Salado, consiste en aumentar la capacidad de embalsamiento construyendo un dique de 20 m de altura, con cresta a 3,525 msnm, un volumen de dique de 184,500 m3 y capacidad de almacenamiento de agua de 506,800 m3.

La Figura 2.2-56 presenta la ubicación de los 2 embalses descritos, así como de las captaciones en las quebradas Páez y Angosturas.

Los dos embalses en el sector del Salado estarán interconectados para el control de niveles de agua. La captación se hará a partir de un solo punto del embalse sobre la quebrada El Salado; a partir de este punto se bombeará agua hacia la planta de procesos o hacia el campamento, de acuerdo a los requerimientos. Dicho punto de captación junto al dique del embalse tendrá las siguientes coordenadas:

ESTE: 1,134,080; NORTE: 1,302,740

Figura 2.2-56: Ubicación de las fuentes de suministro de agua

Caudal Ecológico

Según la CDMB en el Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Sub-cuenca del Río Suratá (CDMB, 2007) estipuló los caudales ecológicos, las deducciones por calidad y los cálculos de oferta neta para toda la sub-cuenca. En el plan se establecieron un caudal ecológico de 25%, y un

caudal ecológico adicional (debido a la baja calidad) de otro 25% para las micro-cuencas Vetas, Suratá Alto y Suratá Bajo, en razón a que estas micro-cuencas presentan problemas de calidad de agua especialmente por acción de los residuos de la pequeña minería en el río Vetas (sección 1.3.2.1, pág. 13 y 14, CDMB, 2006).

En La Tabla Anexa 2-6, Tabla Anexa 2-7 y Tabla Anexa 2-8 se presentan el cálculo de caudales ecológicos, y la información hidrométrica de la cuenca, así como los cálculos de los caudales ecológicos para la cuenca de El Salado.

- Aseguramiento de Abastecimiento de Agua para la Comunidad

Como procedimiento para asegurar que no se interrumpa el suministro de agua a las comunidades que dependen de los cursos de agua utilizadas se ha definido lo siguiente:

El caudal para las operaciones será del 15% del flujo de las quebradas Angosturas, Páez y El Salado. Con tomas directas en Angosturas y Páez y con embalse en El Salado.

En las quebradas Angosturas y Páez las concesiones actuales y a mediano plazo no llegan al 15%. Deducidas el 25% de caudal ecológico y 25% por conservación ambiental, hay disponible 35% (100%-25%-25%-15%).

En la cuenca El salado el impacto es mínimo pues sólo se va a captar agua de los picos de flujo durante la temporada de lluvias (cuando hay abundancia en el valle). Durante la temporada seca se dejará pasar el 100% del flujo. La presa contará con una toma de fondo para permitir pasar el flujo durante la temporada seca.

Las demandas de agua se reducen después del año 10, y las demandas serán muy por debajo del 15% del rendimiento hídrico de los valles, pudiéndose optar por captar solamente de El Salado.

- Sistema de Distribución

La captación de aguas a partir de las quebradas Angosturas y Páez se hará por un sistema bocatoma con barraje fijo y barraje móvil ubicado sobre el cauce de las quebradas. De allí el agua es conducida a una trampa de sedimentos y posteriormente conducida por gravedad a un tanque de almacenamiento para posteriormente bombear y transportar por tubería hasta la planta de procesos como se muestra esquemáticamente en la Figura 2.2-57 junto con una sección tipo del sistema de bocatoma. La Figura 2.2-56 muestra un mapa general de los puntos de captación a partir de las quebradas, así como su conducción hasta el tanque de almacenamiento de agua en la planta de procesos.

Figura 2.2-57: Sistema de captación directa de agua (sección típica)

SISTEMA DE CATACIÓN

BOCATOMA

Para el caso de los embalses, el sistema considera una torre de captación en el embalse de El Salado conectada a un túnel de desvío. A partir de la torre de captación el agua es llevada por gravedad hasta un tanque de almacenamiento, y de allí impulsada con bombas centrífugas a la planta y al campamento. En la Figura 2.2-58 y Figura 2.2-58 se presentan un plano general del sistema de captación y una sección típica de la captación sobre el embalse de El Salado. Los dos embalses estarán interconectados con el fin de controlar los niveles durante la vida de la mina.

Figura 2.2-58: Plano del sistema de captación a partir de embalses

Figura 2.2-59: Sección típica del sistema de captación del embalse

2.2.6.5.4 Tratamiento de Agua de Consumos

Las aguas de consumo en oficinas, campamento o comedor serán tratadas por métodos convencionales de sedimentación, filtración y desinfección con hipoclorito de sodio. El volumen de demanda de las oficinas, comedor y campamento (13 L/s) fue calculado de acuerdo a la población flotante y al número de personas en el campamento, y se incluyó en la demanda general del balance de aguas presentado en la sección 2.2.6.5.3.

2.2.6.5.5 Aguas de Contacto

Las aguas de contacto son potenciales de generación de agua ácida por entrar en contacto con las instalaciones (construcciones), con el tajo abierto, y con el depósito de estériles. Estas aguas de contacto son recirculadas al sistema del proceso de lixiviación y de flotación. Antes de ser enviadas al proceso, las aguas de contacto son neutralizadas (control de pH) en la planta de aguas acidas conocidas como “AWTP” por sus siglas en Ingles (Acid Water Treatment Plant) que se traduce como Planta de Tratamiento de Aguas Acidas.

En caso de haber exceso de agua de procesos, las aguas de contacto pueden continuar siendo tratadas en la planta “AWTP” para neutralización de pH, y luego ser descargadas en el medio ambiente bajo los niveles permisibles.

2.2.6.6 Manejo de Colas

De los dos procesos de beneficio y transformación de minerales del proyecto Angostura, solo uno generara colas, el proceso de flotación, y estas serán dispuestas en las pilas de lixiviación, por lo

que no habrá colas que descargar al medio ambiente y no hay la necesidad de diseñar una presa de colas.

2.2.6.6.1 Diseño y localización de Áreas de Disposición

Las colas de flotación serán dispuestas en la pila de lixiviación una vez aglomeradas. El diseño contempla que 20,000 tpd del mineral a 19 mm (mineral de las pilas de lixiviación a 4% de humedad) sean derivados al sistema de aglomeración para juntarse con los 4,680 tpd a 106 micrones de colas de flotación filtradas (26% de humedad) en el tambor de aglomeración. Para aglomerar las colas de flotación con el mineral desviado se agrega 1.3 Kg/t de cemento Portland y 1.8 Kg/t de cal. Luego los aglomerados son transportados por bandas y se integran al sistema de bandas de transporte de mineral a las pilas de lixiviación para ser dispuestos allí.

Es importante resaltar que la aglomeración de las colas de flotación y disposición en las pilas de lixiviación cumple una doble función, 1) La de lixiviar las colas de flotación para extraer los valores remanentes de oro y plata, y 2) La de no generar colas que tengan que ser dispuestas en una presa de colas o en el medio ambiente, ya que quedan dentro de un sistema impermeabilizado como los son las pilas de lixiviación.

La localización de las aéreas de disposición de las colas de flotación son las pilas de lixiviación de Angostura y Páez. Detalle de la localización de estas fue explicado en la sección 2.2.6.2.2.

2.2.6.6.2 Balances de Masa Generales

El balance de masa del manejo de colas comprende el sistema de espesamiento, filtrado, y aglomeración de las colas de flotación, y su almacenamiento en las pilas de lixiviación. Al sistema ingresan las colas de flotación, el mineral de lixiviación para la aglomeración y el agente aglomerante. Dentro del sistema hay recirculación del agua. Y como salida del sistema están las colas de flotación aglomeradas que se almacenan en la pila de lixiviación. En la Figura 2.2-60 se muestra el balance de masa general del manejo de colas.

Figura 2.2-60: Balance de masa del manejo de colas

Balance de Masa	Sólidos	Solución	Pulpa o Mineral Húmedo		Comentarios
Descripción	Tonelaje	Flujo	Densidad	Pulpa	
Manejo de Colas	(t/h)	(m3/h)	(% sólidos)	(t/h)	
Manejo de Colas de Flotación					Sistema de Aglomeración
Colas en pulpa	195.0		33%	590.9	
Espesado de las colas	195.0		55%	354.5	
Floculante	0.005				
Agua recirculada al sistema por espesamiento		236			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Filtrado de colas	195.0		75%	260.0	
Agua recirculada al sistema por filtrado		95			Recirculación al sistema de molienda y flotación
Colas filtradas	195.0		75%	260.0	
Sistema de Aglomeración					
Mineral de lixiviación derivado para aglomeración	833.3		96%		
Colas de Flotación con Mineral Aglomerado	1,028.3		91%		Colas a almacenaje en pilas de lixiviación
Cemento Portland	1.3				

2.2.6.6.3 Manejo y Disposición

Las colas de flotación son manejadas como una pulpa de mineral molido. Puede contener por un corto lapso de tiempo residuos de los reactivos usados como el colector PAX (Xantato Amilico Potásico) o el espumante MIBC (Metil Isobutil Carbinol), que tienen la particularidad de degradarse con el tiempo.

El manejo de las colas de flotación se hará a través de bombas y tuberías que pasarán el material desde la planta de flotación hasta el filtrado, pasando por los espesadores. Luego las colas filtradas son mezcladas en el tambor de aglomeración junto con el mineral de las pilas de lixiviación y aglomerados con la ayuda de cemento Portland y cal.

Luego los aglomerados son descargados sobre la banda transportadora del mineral de lixiviación para su disposición en la pila, manteniéndose así las colas en un sistema impermeable

2.2.7 PRODUCCIÓN Y COSTOS

2.2.7.1 Costos

2.2.7.1.1 Costos de Capital

El costo de capital para toda la vida de la mina estimado es de 945 millones de dólares, tal como se describe en la Figura 2.2-61. Los costos se reportan en millones de dólares americanos (US$ M).

Figura 2.2-61: Costos de capital del proyecto Angostura

Descripción	US$ M
Mina	238.4
Transporte de mineral a la lixiviación (Bandas)	61.3
Pilas de lixiviación	127.5
Planta de Beneficio e Infraestructura Interna	239.9
Embalses de agua	10
Sistema de energía eléctrica	18.1
Manejo de aguas de tormentas y accesos	45.2
Costos Indirectos	85.4
Costos generales y de administración	18.9
Cierre de Mina	37.6
Capital de Trabajo	5.1
Provisión por precisión	57.7
Total - costos de capital	945.1

El costo de capital inicial ha sido estimado en US$638 Millones, hasta poner el proyecto a producir en el año 2012, y US$307 Millones adicionales que forman el capital de sostenimiento para el resto de la vida de la mina.

2.2.7.1.2 Costos Operativos

Los costos operativos para toda la vida de la mina Angostura han sido estimados en 2,998 millones de dólares, tal como se describe en la Figura 2.2 62

Figura 2.2-62: Costos operativos del proyecto Angostura

Descripción	US$ M
Minado	1,139.1
Planta de beneficio y proceso de transformación de minerales por lixiviación en pilas	734.8
Planta de beneficio y proceso de transformación de minerales por molienda y flotación	244.3
Transporte de mineral a las pilas de lixiviación (Bandas)	123.4
Costo de envío de barras de doré (Oro y plata)	55.2
Costo de envío de concentrado	225.9
Costo de tratamiento y refinación del concentrado	249.2
Infraestructura (caminos, embalse, sistema energético, tajo, deposito de estéril, sistema de manejo de aguas de tormentas)	36.0
Costos generales y administrativos	189.9
Total – costos de operación	2,997.8

2.2.7.1.3 Rubros de Inversión Sujetos al Cálculo de la Inversión para Preservación del Recurso Hídrico

De acuerdo al decreto 1900 de junio 12 de 2006, del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se estableció que todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua tomada de fuentes naturales, deberá destinar el 1% del total de la inversión para la preservación del recurso hídrico en la cuenca o cuencas de las que se hace la captación.

Para el cálculo de la inversión del proyecto sujeta al cálculo de la inversión en preservación del recurso hídrico, se tienen en cuenta los siguientes 4 rubros, de acuerdo al mismo decreto 1900 de 2006:

- Adquisición de terrenos e inmuebles
- Obras civiles
- Adquisición y alquiler de maquinaria y equipo utilizado en obras civiles
- Constitución de Servidumbres

El monto de estos rubros para el proyecto Angostura asciende a US$223 millones, cuya discriminación se observa en la Figura 2.2-63.

Figura 2.2-63: Rubros para cálculo de inversión en preservación del recurso hídrico

Rubro	Detalle	Costo (US$ M)
-Adquisición de terrenos e inmuebles		5.7
-Obras civiles y -Adquisición y alquiler de maquinaria y equipo utilizado en obras civiles.	Pilas de lixiviación	98.2
	Planta de procesos	89.0
	Bandas transportadoras de mineral	13.5
	Reservorio y planta de tratamiento de aguas de Contacto	7.4
	Embalse de agua	6.9
	Filtración y aglomeración de Colas de flotación	0.3
-Constitución de servidumbres		2.0
TOTAL		223.0

2.2.7.2 Producción

El proyecto Angostura comprende la explotación de 330.6 millones de toneladas de mineral, de los cuales 308 millones serán llevados al proceso de lixiviación en las pilas Angosturas y Páez. Los restantes 22.6 millones de toneladas serán procesados por molienda y flotación.

La producción total durante toda la vida de la mina es de 7.7 millones de onzas Troy (Oz) de oro y 34.4 millones de onzas Troy de plata. La Figura 2.2 64 contiene el detalle anual de los tonelajes de mineral a proceso, los tenores de oro y plata, así como la producción de oro y plata.

Figura 2.2-64: Plan de producción del proyecto Angostura

Nota: Los valores de tonelaje y onzas Troy de oro(Au) y plata(Ag) se presentan en unidades x 1000. kt: Kilo-toneladas, kOz: Kilo-Onzas Troy (1 Onza Troy: 31.10348 gramos)

2.2.8 GENERACIÓN DE RESIDUOS

La mina Angostura, como cualquier actividad de este tipo, generará residuos tanto líquidos como sólidos, domésticos, industriales y algunos clasificados como peligrosos. Los sistemas de manejo de residuos y los costos asociados a estos han sido considerados dentro de la inversión de capital y costos operativos del proyecto, y son parte de la evaluación técnica y económica de los estudios del proyecto.

2.2.8.1 Residuos Líquidos (RL)

Los residuos líquidos pueden clasificarse de acuerdo a la fuente de generación, tales como:

- Residuos líquidos del proceso.
- Residuos líquidos industriales.
- Residuos líquidos domésticos.
- Residuos líquidos de contacto.

Los residuos líquidos del proceso son las aguas que se generan como excedente del proceso de lixiviación. Los residuos líquidos del proceso de lixiviación son tratados en las plantas de tratamiento de exceso de aguas, llamadas EWTP, por sus siglas en Ingles. En el caso del proceso de flotación, este no genera residuos líquidos, ya que las aguas son recirculadas al mismo sistema de flotación para el tratamiento de mineral fresco. Los residuos líquidos del proceso de lixiviación o también llamadas aguas de exceso y la planta de tratamiento fueron explicados en la sección 2.2.6.5 de Manejo de Efluentes (Vertimientos) del proceso y domésticos.

Los residuos líquidos industriales son las aguas generadas por las actividades dentro de la planta de proceso y el taller de mantenimiento de camiones. En el caso de la planta de proceso, no hay generación de residuos líquidos industriales, ya que estas aguas son captadas en sumideros, los cuales recirculan el agua al sistema del proceso de lixiviación en pilas. En el caso del taller de mantenimiento de camiones, tampoco hay generación de residuos líquidos industriales, ya que las aguas son captadas en sumideros, para luego pasar por una trampa de grasa, un sedimentador y luego ser recirculadas al mismo taller de mantenimiento para el lavado de camiones.

Los residuos líquidos domésticos son las aguas generadas por las actividades en oficinas, comedor, y campamento. En el caso del proyecto Angostura, los residuos líquidos domésticos serán tratados por un sistema convencional de tratamiento de aguas domesticas antes de ser descargadas al medio ambiente.

Los residuos líquidos de contacto, son las aguas generadas por las actividades industriales de movimiento de tierra, principalmente en el frente de explotación del tajo y en el depósito de estériles. Estas aguas residuales de contacto tienen potencial de generación de acidez, y serán tratadas en la planta de tratamiento de agua ácida AWTP. Las aguas ácidas serán neutralizadas, ajustando el pH, y recicladas al proceso de lixiviación en pilas. En caso de existir exceso de aguas, generado por las lluvias, estas aguas pueden ser descargadas al medio ambiente después de ajustar el pH (neutralizar), y precipitar los metales que estén por encima de los niveles permisibles. El manejo de los residuos líquidos de contacto o aguas ácidas, y la planta de tratamiento de aguas ácidas, conocida como AWTP, por sus siglas en Ingles, fueron descritas en la sección 2.2.6.5 de Manejo de Efluentes (Vertimientos) del proceso y domésticos.

2.2.8.1.1 Volúmenes y Caudales Diarios y Mensual Estimados

Los volúmenes y caudales diarios y mensuales son estimados a partir de dos métodos de cálculo. El primer cálculo está basado en el tipo de actividad y el segundo por simulación de series de balance de aguas a determinados percentiles.

En el caso del cálculo basado en el tipo de actividad, se consideran las actividades donde las condiciones de precipitación o evaporación no afectan el volumen calculado. En estas actividades están comprendidas:

- Proceso de Flotación, incluyendo molienda, flotación, espesamiento, filtración, aglomeración, limpieza y mantenimiento.
- Taller de mantenimiento de mina (lavado y mantenimiento de camiones y del taller).
- Planta de procesos (laboratorios, lavado de pisos, sellos de agua de bombas, etc.).
- Oficinas, comedor y campamento (de acuerdo al consumo por persona, ya sea como población flotante o como habitante del campamento).

En el caso de simulaciones de balance de agua, se consideran las precipitaciones, evaporaciones, tonelajes y parámetros de diseño que afectan a la generación de residuos líquidos en la pila de lixiviación y residuos líquidos de contacto.

Las aguas generadas por los procesos de flotación, de la planta de procesos y del taller de mantenimiento serán recirculadas al sistema de operaciones. Por lo que no se generarán residuos líquidos en estos procesos.

Residuos Líquidos Domésticos

Los residuos líquidos por actividades humanas en oficinas, comedor y campamento fueron calculados según los siguientes criterios:

- Oficinas: 106 personas (consumo = 80 L/persona/día)
- Comedor: 180 personas (consumo = 80 L/persona/día)
- Campamento: 72 personas, 44 dormitorios (consumo = 120 L/persona/día)

Con dichos criterios se determinó que los volúmenes de residuos líquidos domésticos serían los siguientes:

- Oficinas y comedor: 58m3 al día y/o 1.737 m3 al mes.
- Campamento: 12m3 al día y/o 363m3 al mes.

Residuos Líquidos del Proceso

Los residuos líquidos del proceso son generados cuando hay exceso de agua en el sistema de lixiviación en pilas. El exceso de agua se debe a la cantidad de precipitación en el tiempo sobre el área construida de la pila de lixiviación y para calcular los volúmenes se realiza una simulación de series de balances de aguas en base a la precipitación histórica, además se considera la capacidad de las pozas y la cantidad de faldas impermeables que se coloquen sobre la pila de lixiviación, se colocan justamente con la finalidad de evitar que el agua de lluvia ingrese al sistema de lixiviación.

El cálculo y simulaciones del balance de agua en la pila de lixiviación y la determinación de la cantidad de aguas de exceso (residuos líquidos del proceso) fueron explicados en la sección 2.2.6.5 (Manejo de Efluentes –Vertimientos- del proceso y domésticos). En dicha sección se determinó que la generación de residuos líquidos del proceso de lixiviación al percentil 95, es decir bajo las peores condiciones, sería:

- En Temporada seca:
  - Mínimo: 0 m3 al día ó 0 m3 al mes.
  - Promedio: 0 m3 al día ó 0 m3 al mes.
  - Máximo: 0 m3 al día ó 0 m3 al mes

- En Temporada húmeda:
  - Mínimo: 408 m3 al día o 12,240 m3 al mes.
  - Promedio: 6,936 m3 al día o 208,080 m3 al mes.
  - Máximo: 14,304 m3 al día o 429,120 m3 al mes.

Residuos Líquidos de Contacto

En condiciones promedio de precipitación, los residuos líquidos de contacto (aguas ácidas), después de ser tratados, serán re-circuladas al proceso, evitando así el vertimiento al medio ambiente. Las descargas de residuos líquidos de contacto son mayores en las temporadas húmedas del año, debido a la participación de escorrentías de contacto, cuando las demandas del sistema integral son mínimas; y en los periodos secos del año las descargas se reducen al mínimo, consistentes prácticamente de las descargas del flujo subterráneo del alivio del tajo (desagüe del tajo más túneles de drenaje) y del efluente de base del botadero.

La Figura 2.2-65 muestra en el borde inferior del gráfico de percentiles que la oferta de agua ácida tratada en la temporada seca crece casi uniformemente de 10 m3/h a 180 m3/h desde el inicio del proyecto hasta su fin.

Figura 2.2-65: Potencial de residuos líquidos de aguas de contacto, en percentiles

Las mayores ofertas pico observadas por el percentil 95% ocurren en la temporada húmeda, de 400 m3/h a alrededor de 800 m3/h entre el inicio y el final del proyecto; pero estos flujos, al ocurrir en la temporada húmeda cuando la demanda es mínima deberán ser en su mayor parte descargadas al medio ambiente luego de ser tratadas.

La generación de residuos líquidos de contacto al percentil 95, es decir bajo las peores condiciones, sería:

- En Temporada seca:
  - Mínimo: 0 m3 al día ó 0 m3 al mes.
  - Promedio: 0 m3 al día ó 0 m3 al mes.
  - Máximo: 480 m3 al día ó 14,400 m3 al mes

- En Temporada húmeda:
  - Mínimo: 2,688 m3 al día o 80,640 m3 al mes.
  - Promedio: 12,816 m3 al día o 384,480 m3 al mes.
  - Máximo: 18,528 m3 al día o 555,840 m3 al mes.

2.2.8.1.2 Puntos de Vertimiento y Caracterización de los Cuerpos Receptores

El punto de vertimiento de los residuos líquidos del proceso estará ubicado en la quebrada Venaderos, ya que la planta de tratamiento de exceso de agua (EWTP) estará ubicada junto a la planta de procesos en la zona de Cristo Rey. Este vertimiento se hará ocasionalmente, cuando el alto nivel de precipitación lleve a que el sistema no sea capaz de aprovechar el exceso de agua.

También e este cuerpo de aguas, quebrada Venaderos, se llevará el efluente doméstico de las instalaciones administrativas y de comedor ubicadas en la zona de la planta de beneficio. Las características principales de este cuerpo de agua se detallan en el capítulo 4, en la sección 4.4.3.4; en conclusión se puede afirmar que el mismo presenta una muy buena calidad (tanto que de él se piensa tomar el agua para consumo humano en esta zona del proyecto), con niveles de DBO y DQO de 39mg/l y 22mg/l respectivamente, oxígeno disuelto de 5,9mg/l, 45UFC/100ml de coliformes fecales y menos de 20 unidades de alcalinidad dureza y calcio. También son bajos sus niveles de nitratos y nitritos (menos de 0,25mg/l para ambos parámetros). La quebrada Venaderos descarga sus aguas, en predios del Proyecto, a la quebrada Angosturas que se describe a continuación.

En caso de ser requerida alguna descarga para líquidos de contacto, el punto de vertimiento sería la quebrada Angosturas, ya que la planta de AWTP se encontrará al pie del tajo minero y atiende tanto a las aguas de contacto de la escombrera como las del tajo. Las características principales de este cuerpo de agua se detallan en el capítulo 4, en la sección 4.4.3.4; de ellas se puede concluir que también presenta una muy buena calidad con niveles de DQO y DBO que oscilan entre 1mg/l y 6,3mg/l la primera y entre 2mg/l y 12,3mg/l la segunda, oxígeno disuelto entre 6,9mg/l y 8,57mg/l, entre 2NMP/100ml y 110NMP/100ml de coliformes totales, menos de 40mgCaCO3/l de dureza total, menos de 23 mgCaCO3/l de alcalinidad. También son bajos sus niveles de nitratos y nitritos (menos de 1,5mg/l para ambos parámetros),

El punto de vertimiento de los residuos líquidos domésticos, para el caso del campamento, será el embalse en la quebrada El Salado; sin embargo, como eventualmente las aguas del embalse pasaran a la quebrada, se analizaron sus características (ver capítulo 4, sección 4.4.3.4.) y se concluye que el mismo también presenta una muy buena calidad con niveles de DQO y DBO de 6,3mg/l y 3mg/l respectivamente, oxígeno disuelto de 5,96mg/l, 15NMP/100ml de coliformes fecales y menos de 17mgCaCO3/l de dureza total, menos de 12,3 mgCaCO3/l de alcalinidad. También son bajos sus niveles de nitratos y nitritos (menos de 0,22mg/l para ambos parámetros).

2.2.8.1.3 Caracterización Fisicoquímica de las Aguas y de los Sistemas de Tratamiento Propuesto

La caracterización fisicoquímica de las aguas es determinada a través de pruebas cinéticas y análisis químicos para los residuos líquidos del proceso (aguas de exceso) y los residuos líquidos

de contacto (aguas acidas), mientras que la caracterización de los residuos líquidos domésticos es convencional.

Residuos Líquidos del Proceso
La caracterización de los residuos líquidos del proceso se realizo a partir de un análisis detallado de la solución producto del proceso de lixiviación. Para dicho análisis se tomaron los resultados de 05 muestras tipo del mineral que representan todo el rango de tipos de materiales que serán depositados en las pilas de lixiviación. Los resultados de la caracterización se detallan en la Tabla Anexa 2-16.

El sistema de tratamiento propuesto para los residuos líquidos del proceso es una planta de tratamiento de exceso de aguas llamada planta EWTP (por sus siglas en Ingles, Excess Water Treatment Plant).

La planta EWTP, ubicada cerca a la planta de beneficio, en la zona de Cristo Rey, tratará las aguas de exceso cuando estas se generen. La planta EWTP consta de una planta de destrucción de cianuro por el método de dióxido de azufre o método "INCO" y una planta de precipitación de metales que con sulfihidrato de sodio (NaSH), separados con cloruro férrico ($FeCl_3$) como coagulante, y el floculante Hychem AF-302 (Poliacrilamida anionica) para captar los precipitados y separarlos del agua.

El agua de exceso tratada será monitoreada antes de descargar para confirmar que cumple con los límites permisibles de descarga. Mientras que el lodo conteniendo el precipitado de metales será recirculado a la pila de lixiviación en donde será almacenado.

Residuos Líquidos de Contacto
Para la caracterización de los residuos líquidos de contacto se seleccionaron muestras de acuerdo a los siguientes criterios:
• Clasificación del material de contacto por tipo de alteración.
• Cada grupo se dividió en tres, de acuerdo a su potencial de generación ácida, generadas a partir de un modelo de conteo ácida-básico o "ABA" por sus siglas en ingles (Acid-Basic Accounting). Las tres divisiones corresponden a potencial de generación ácida, neutro, y no generador ácido.
• Cada muestra deberá representar más del 5% en tonelaje, y para las de menos de 5% se hará un composito.

Como resultado se obtuvieron 10 muestras y una muestra maestra.

Estas muestras están siendo caracterizadas por pruebas de celdas húmedas o también conocidas como pruebas cinéticas de caracterización de potencial de generación ácida. Los resultados de la caracterización de los residuos líquidos del contacto con material estéril o con las paredes del tajo abierto se presentan en la Tabla Anexa 2-17.

Las pruebas de celdas húmedas o pruebas cinéticas simulan la acción de muchos años de lluvias, el aire, la oxidación y las aguas ácidas sobre el material estéril y sobre las superficies y paredes del tajo abierto, en pocas semanas. Las muestras analizadas son los residuos líquidos de contacto a las semanas 0, 4 y 8, que por la cantidad de muestra usada (1,500 g) y por la cantidad de aire y agua que circulan por la muestra, cada semana equivale entre 100 a 150 años, dependiendo de las lluvias que caigan en dicho período.

Además de la caracterización por medio de celdas húmedas, se cuenta con información de otras pruebas tales como Movilidad de Metales por Acción de la Meteorización (MWMP por sus siglas en Ingles) y pruebas estáticas de evaluación de potencial de generación de aguas ácidas. Estas pruebas complementarias son presentadas en la Tabla Anexa 2-18 y Tabla Anexa 2-19.

El sistema de tratamiento propuesto para los residuos líquidos de contacto o aguas ácidas, contempla la neutralización de las aguas (control de pH) y la precipitación de los posibles metales que pudieran presentarse por encima de los niveles permisibles. Los posibles metales potenciales que podrían estar por encima de los límites permisibles serían removidos disminuyendo su solubilidad. . La disminución de la solubilidad se logra aumentando el pH, por ejemplo en el caso del Níquel y Cobre, dos potenciales metales presentes en los residuos líquidos de contacto, el pH deberá ser aumentado a un valor de 9 ó 9.5. Luego con ayuda de un coagulante como el cloruro de fierro (FeCl3), que también reduce el pH a valores entre 6 y 9, y con la ayuda de un floculante, los metales precipitados contenidos en el lodo de los sedimentadores serán recirculados a la pila de lixiviación en donde serán almacenados.

Luego de la separación de los metales y la neutralización del pH, los residuos líquidos serán monitoreados antes de ser descargados al medio ambiente, para confirmar que cumplen con los límites permisibles.

2.2.8.2 Residuos Sólidos (RS)

Los residuos sólidos en el proyecto Angostura están clasificados en tres tipos. Dos tipos de residuos sólidos nombrados de acuerdo a su origen: Residuos Sólidos Domésticos y Residuos Sólidos Industriales; y un tipo de de residuo sólido nombrado de acuerdo al tipo de manejo: Residuos Peligrosos.

2.2.8.2.1 Residuos Sólidos Domésticos (RSD)

Con base en las tasas actuales de generación de residuos domésticos por una población de 248 personas, podemos establecer que cuando se avance a las etapas de construcción y montaje y luego a la de operación la generación de residuos será la que se indica en Figura 2.2-66. Para la etapa de desmonte se estimó una población similar a la que actualmente participa en la etapa de exploración.

Figura 2.2-66: Generación esperada de RSD en el proyecto

	Exploración		**Construcción**		**Explotación**		**Abandono**	
	kg/ pers.mes	**kg/ mes**	**kg/ pers.mes**	**kg/ mes**	**kg/ pers.mes**	**kg/ mes**	**kg/ pers.mes**	**kg/ mes**
Población	248 personas		1500 personas		800 personas		248 personas	
Res. Ordinarios	0,35	2590	0,50	22500	0,35	8400	0,35	2590
Res. Orgánicos	0,13	977	0,20	9000	0,13	3120	0,13	977
Res. Reciclables	0,11	850	0,20	9000	0,11	2640	0,11	850
Total	0,59	4417	0,90	40500	0,59	14160	0,59	4417

De acuerdo con los inventarios actuales, los residuos ordinarios están constituidos principalmente por papeles sanitarios (higiénicos, servilletas, toallas,…), elementos sucios de comida y elementos inadecuadamente separados al momento de descartarlos. Los residuos orgánicos son primordialmente restos de comida y restos vegetales (muy pocos). En cuanto a los reciclables, están integrados por envases plásticos, restos de papel y cartón, y algo de madera.

Se espera que las tasas unitarias de generación de residuos permanezcan constantes, con excepción de la que se registre durante el montaje en la cual habrá presencia de personal menos concientizado de la racionalización en la generación de residuos.

2.2.8.2.2 Residuos Sólidos Industriales (RSI)

Los residuos sólidos industriales son generados en las plantas de procesos, en las pilas de lixiviación, en el depósito de nitrato y en el taller de mantenimiento mina.

Los residuos sólidos industriales estimados de las plantas de procesos y de las pilas de lixiviación se describen en la Figura 2.2-67, estos residuos incluyen la planta de trituración y molienda, la planta de Merrill Crowe, las plantas de tratamiento de aguas, la fundición, laboratorios químico y metalúrgico, y las pilas de lixiviación. Cabe resaltar que los envases de los reactivos no mencionados como residuos sólidos, son envases reutilizables y no residuos sólidos.

Figura 2.2-67: Residuos s*ólidos* industriales estimados de la planta de procesos y de las pilas de lixiviación

Descripción	Tamaño	Reactivo o material con que estuvo en contacto	Tratamiento	Cantidad
Bolsas plásticas	1 t	Cianuro de sodio	Lavadas	900 bolsas/mes
Caja de madera	1 t	Bolsas de cianuro de sodio	Desarmadas y lavadas	900 unidades/mes
Bolsas de tela	1.25 t	Cal	Lavadas	1,600 bolsas/mes
Bolsas plásticas	25 Kg	Tierra Diatomea	Lavadas	200 bolsas/mes
Canecas metálicas	25 Kg	Polvo de Zinc	Lavadas	290 canecas/mes
Bolsas plásticas	25 Kg	Bórax	Lavadas	30 bolsas/mes
Bolsas plásticas	25 Kg	Nitrato de potasio	Lavadas	5 bolsas/mes
Bolas de acero rotas	<1/4"	Mineral	Lavadas	20 t/mes
Fierro (Partes metálicas gastadas de trituradoras, zarandas y molino)	Piezas desde 0.5 m2 (25 Kg) hasta 4 m2 (5 t)	Mineral	Soplados	40 t/mes
Bolsas plásticas	25 Kg	PAX (Xantato Amilico Potasico)	Lavadas	300 bolsas/mes
Canecas metálicas	55 galones	MIBC (Metil Isobutil Carbinol)	Lavadas	34 canecas/mes
Bolsas plásticas	25 Kg	Floculante	Lavadas	150 bolsas/mes
Bolsas plásticas	Pequeñas y medianas	Muestras de mineral	Ninguno	10,000 bolsas/mes
Tubos de ensayo (vidrio)	100 mL	Soluciones Cianurada o de ataque química	Lavados	2,000 tubos/mes
Mangueras de irrigación	1/4"	Solución Cianurada	Lavadas	2.5 Km/mes

Los residuos sólidos industriales estimados del depósito de nitrato y del taller de mantenimiento mina se detallan en la Figura 2.2-68.

Figura 2.2-68: Residuos sólidos industriales estimados del depósito de nitrato y del taller de mantenimiento mina

Residuos	Duración / Capacidad	Unidades	Cantidad equipos / Consumo	Cantidad generada	Unidades
Aceros - Chatarra				100	toneladas
Llantas	5,000	horas	51	57	llantas
Bolsas de nitrato de 1.25 t (big-bags)	1.25	t/bolsa	8,176	6,541	bolsas

Residuos Peligrosos
Los residuos peligrosos del proyecto Angostura son generados desde tres fuentes, los residuos peligrosos domésticos (llámese oficinas, comedor y campamento), los residuos peligrosos de la planta de procesos, y los residuos peligrosos del taller de mantenimiento mina.

Residuos Peligrosos Domésticos
Los residuos peligrosos domésticos son detallados en la Figura 2.2-69.

Figura 2.2-69: Residuos peligrosos provenientes de oficinas, campamento y comedores

Descripción	Cantidad
Baterías o “pilas” descartables	20 unidades/mes
Bombillos Fluorescentes	10 unidades/mes
Tinta y “toner” de impresoras o fotocopiadoras	10 unidades/mes

Residuos Peligrosos de Procesos
Los residuos peligrosos de la planta de procesos son generados en el proceso de análisis de oro por el método de ensayo al fuego, en donde se genera las copelas contaminadas con plomo. Se estima que se producirán unas 400 copelas al mes y serán tratadas y descartadas por una empresa especializada de manejo y disposición de materiales peligrosos.

Residuos Peligrosos del Taller de Mantenimiento Mina
Los residuos peligrosos del taller de mantenimiento mina, son detallados en la Figura 2.2-70.

Figura 2.2-70: Residuos peligrosos provenientes del taller de mantenimiento mina

Residuos	Duración / Capacidad	Unidades	Cantidad equipos / Consumo	Cantidad generada	Unidades
Baterías de equipos mineros	9,000	horas	69	27	baterías
Baterías de equipos livianos	3,650	horas	25	12	baterías
Aceites	500	horas @ 28 gal	51	16,012	galones

2.2.8.3 Contaminantes Atmosféricos

Las operaciones mineras que se planean adelantar generarán emisiones de material particulado y de gases de combustión primordialmente. El primero lo ocasionan las actividades de voladura, cargue, transporte, trituración y descarga de minerales que se adelantará en el tajo y su posterior transporte y descarga en la escombrera o en las pilas de lixiviación. Los segundos se originarán en los motores de combustión interna de todos los vehículos (para dentro y fuera de carretera) y de los otros equipos como palas, bulldozers, taladros.

Para estimar el efecto de todas estas emisiones se construyó un modelo de dispersión para la mina, que se encuentra en el anexo Documento Anexo 2-13. Para la construcción del mismo se analizaron los escenarios de operación esperados y se establecieron las principales fuentes fijas y móviles asociadas al proyecto. En la Figura 2.2-71 se muestra sus principales resultados con relación al material particulado.

Figura 2.2-71: Valores de emisión de material particulado

Con respecto a los vehículos sus emisiones de gases de combustión se atenderán mediante la sincronización periódica de su operación y, para aquellos que no son de operación "fuera de carretera" se les realizará anualmente la evaluación de sus emisiones en Centros de Diagnóstico Autorizados.

2.2.8.3.1 Identificación de fuentes emisoras

Fijas
Cantidad y calidad de las emisiones (de acuerdo con parámetros de los términos)
Modelo de Dispersión de contaminantes atmosféricos
Emisión de Gases y Calor

Móviles
Evaluación Anual de emisiones en Centros de Diagnóstico autorizado)

Lineales y Dispersas
Emisión de Ruido por cada fuente generadora

2.2.9 ORGANIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto Angostura en su parte técnica y operativa ha sido estructurado para ser dirigido desde una gerencia general, a la cual le reportan todas las gerencias estructuradas para su correcto funcionamiento y operación. Cada una de estas gerencias está compuesta de superintendencias, jefaturas generales y supervisores, quienes tendrán a su cargo la coordinación y supervisión de la operación.

Los cambios en la organización y la fuerza laboral están asociados a 3 etapas principales: la primera es la construcción, montaje y puesta en marcha (2010, 2011), la segunda es la puesta en marcha e inicio de la lixiviación en pilas (2012) y la última es la puesta en marcha del proceso de flotación (2014).

2.2.9.1 Organigrama

En la Figura 2.2-72 se muestra la organización planeada con los niveles de los cargos requeridos para cada uno de ellos.

Figura 2.2-72: Organigrama del proyecto

2.2.9.1.1 Recurso Humano destinado a la Gestión Ambiental

En la Figura 2.2-73 se relaciona la fuerza laboral planificada para la gestión ambiental, en las diferentes etapas del montaje y la operación. Está constituido, básicamente por un equipo de 24 personas a cargo de dos técnicos que lideran las actividades de monitoreo, recuperación y revegetalización, cuidado de viveros, manejo de efluentes ácidos y mantenimiento de cunetas. Estos dos técnicos están bajo la supervisión directa de un supervisor en campo y la coordinación administrativa por parte de un Coordinador Ambiental, todos a cargo del Superintendente Ambiental del Proyecto.

2.2.9.1.2 Recursos Físicos destinados a la Gestión Ambiental

Para adelantar su gestión, el equipo de Gestión Ambiental cuenta con las instalaciones del vivero y oficinas en la mina; cuenta además con equipo básico de monitoreo y de seguridad durante sus operaciones y el respaldo de la operación en cuanto al suministro de vehículos para su traslado a los lugares de atención.

2.2.9.1.3 Recursos Financieros destinados a la Gestión Ambiental

En la Figura 2.2-74 se relacionan los recursos financieros anuales asociados al recurso humano destinado a la gestión ambiental, en las principales etapas del proyecto.

Figura 2.2-73: Recurso humano mensual para la gestión ambiental

Etapa	Preminado, Construcción y Montaje		Operación de Lixiviación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Último año de Producción	Solo Lixiviación, sin alimentación de mineral	Lavado de Pilas	Cierre de Pilas	Operación & Mantenimiento de Efluentes
							Cierre de Infraestructura			
	2010	2011	2012 - 2013	2014 - 2021	2022 - 2025	2026	2027 - 2028	2029 - 2030	2031 - 2032	Desde Enero de 2033
Área Ambiental										
Profesional	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1
Técnico	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Obrero	21	21	21	21	21	21	21	21	21	8
Total Área Ambiental	29	29	29	29	29	29	29	29	29	11

Figura 2.2-74: Recursos financieros asociados al recurso humano para la gestión ambiental

Etapa	Preminado, Construcción y Montaje	Operación de Lixiviación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Último año de Producción	Solo Lixiviación, sin alimentación de mineral	Lavado de Pilas	Cierre de Pilas	Operación & Mantenimiento de Efluentes
Recursos Financieros Ambiental	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	1,075,816,471	510,005,215

2.2.9.1.4 Flujograma de las Principales Actividades del Proyecto

En la Tabla Anexa 2-10 se puede observar el cronograma de actividades detalladas para la construcción, montaje y puesta en marcha del proyecto.

2.2.9.2 Duración del Proyecto y Cronograma de Actividades

El proyecto incluyendo todas sus actividades de construcción, montaje y puesta en marcha hasta cierre de las pilas de lixiviación, tiene una duración de 20 años. Las principales actividades y su duración se detallan en la Tabla Anexa 2-11.

2.2.9.3 Recurso Humano

Con el cronograma de actividades planeado, se ha establecido un requerimiento de personal necesario para desarrollar el proyecto. En la Figura 2.2-75 detalla la fuerza laboral requerida en cada etapas del proyecto al igual que el nivel de calificación: Profesional (P), Técnico (T) y Obrero (O).

Figura 2.2-75: Fuerza laboral por etapas y nivel de calificación

Etapa	Preminado, Construcción y Montaje		Operación de Lixiviación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Operaciones de Lixiviación & Flotación	Último año de Producción	Solo Lixiviación, sin alimentación de mineral	Lavado de Pilas	Cierre de Pilas	Operación & Mantenimiento de Efluentes
							Cierre de Infraestructura			
	2010	2011	2012 - 2013	2014 - 2021	2022 - 2025	2026	2027 - 2028	2029 - 2030	2031 - 2032	Desde Enero de 2033
Área de Mina										
Profesional		13	26	40	36	20	12	8	8	
Técnico		4	74	272	218	82	41	27	27	
Obrero		8	8	8	6	2	1	1	1	
Total área de Mina	0	25	108	320	260	104	54	36	36	0
Área de Planta										
Profesional		9	13	18	16	11	9	7	4	1
Técnico			25	48	43	24	19	14	7	4
Obrero			62	70	63	35	28	21	11	9
Total área de Planta	0	9	100	136	122	70	56	43	21	14
Área Ambiental										
Profesional	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1
Técnico	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
Obrero	21	21	21	21	21	21	21	21	21	8
Total área Ambiental	29	29	29	29	29	29	29	29	29	11
Áreas de Apoyo										
Profesional	59	37	43	46	46	23	14	14	14	2
Técnico	19	15	11	13	13	7	4	4	4	2
Obrero	64	56	19	19	19	10	6	6	6	4
Total áreas de apoyo	142	108	73	78	78	39	23	23	23	8
Total Greystar	171	171	310	563	489	242	163	131	110	33
Personal de Contratistas										
Profesional	15	110	55	22	20	11	7	7	7	1
Técnico	30	205	100	230	184	69	35	35	35	8
Obrero	150	1050	500	40	32	12	6	6	6	8
Total Contratistas	195	1365	655	292	236	92	47	47	47	17
Ejercito	40	80	80	80	80	80	60	60	40	20
Total Proyecto	406	1616	1045	935	805	414	270	238	197	70

ANEXOS CAPITULO 2

ANEXO DE MAPAS

Mapa Anexo 2-1: Mapa de Localización del Área de Estudio y del Área Prevista para la Explotación

Mapa Anexo 2-2: Mapa Geomorfológico Regional

Mapa Anexo 2-3: Mapa Geológico Regional

Mapa Anexo 2-4: Mapa Hidrogeológico Regional

Mapa Anexo 2-5: Mapa Geológico Local

Mapa Anexo 2-6: Mapa Hidrogeológico Local

Mapa Anexo 2-7: Mapa de Arreglo General del Proyecto

Mapa Anexo 2-8: Secuencia de Explotación del Tajo

Mapa Anexo 2-9: Fase 0 de la Explotación en el Tajo

Mapa Anexo 2-10: Fase 1 de la Explotación en el Tajo

Mapa Anexo 2-11: Fase 2 de la Explotación en el Tajo

Mapa Anexo 2-12: Fase 3 de la Explotación en el Tajo

Mapa Anexo 2-13: Fase 4 de la Explotación en el Tajo

Mapa Anexo 2-14: Avance en el Tajo (año 1-Preproducción)

Mapa Anexo 2-15: Avance en el Tajo (año 2-Preproducción)

Mapa Anexo 2-16: Avance en el Tajo (año 3)

Mapa Anexo 2-17: Avance en el Tajo (año 4)

Mapa Anexo 2-18: Avance en el Tajo (año 5)

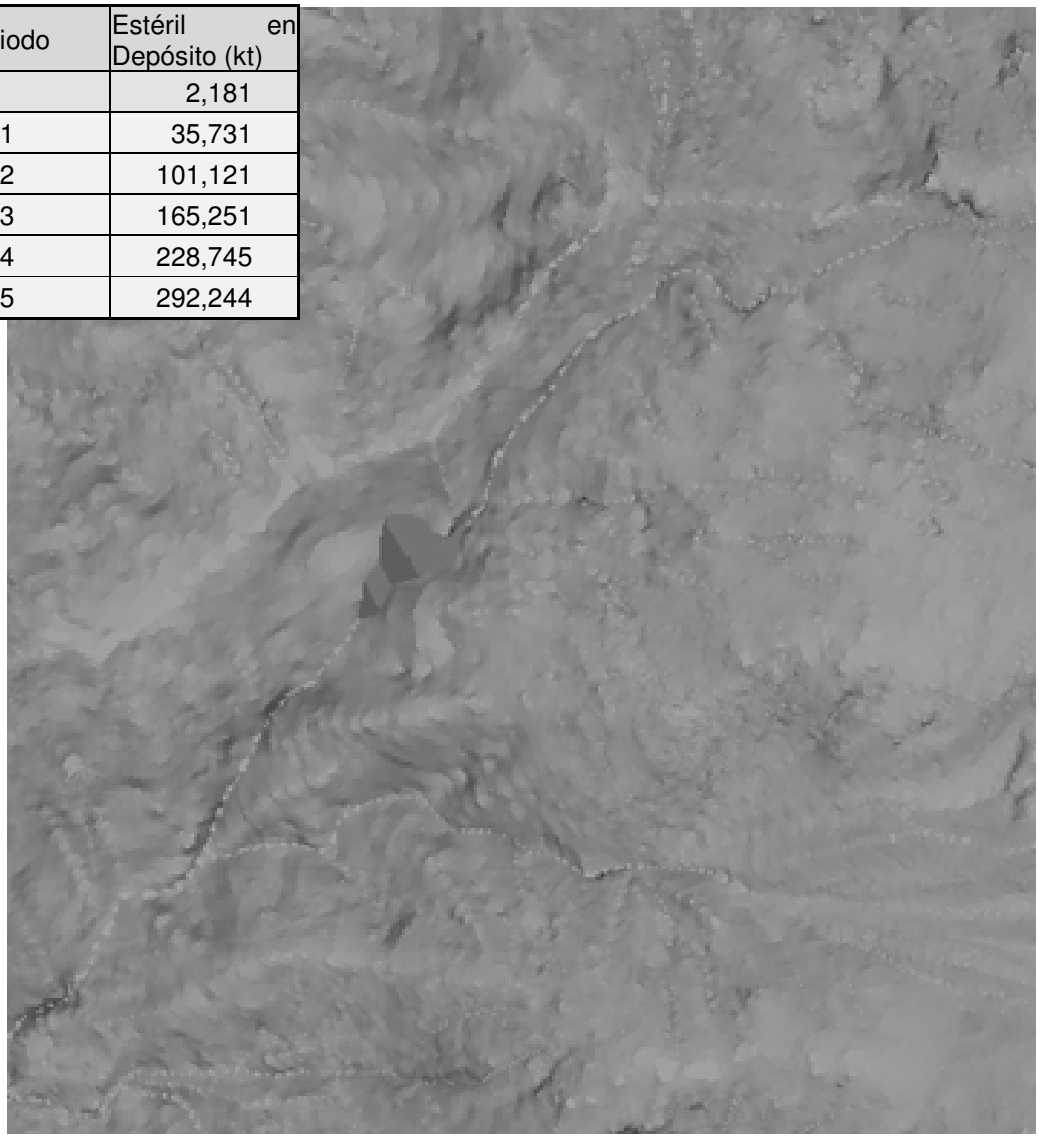
Mapa Anexo 2-19: Avance en el Tajo (año 10)

Mapa Anexo 2-20: Avance en el Tajo (año 15)

Mapa Anexo 2-21: Avance en el año 16 (Tajo Final)

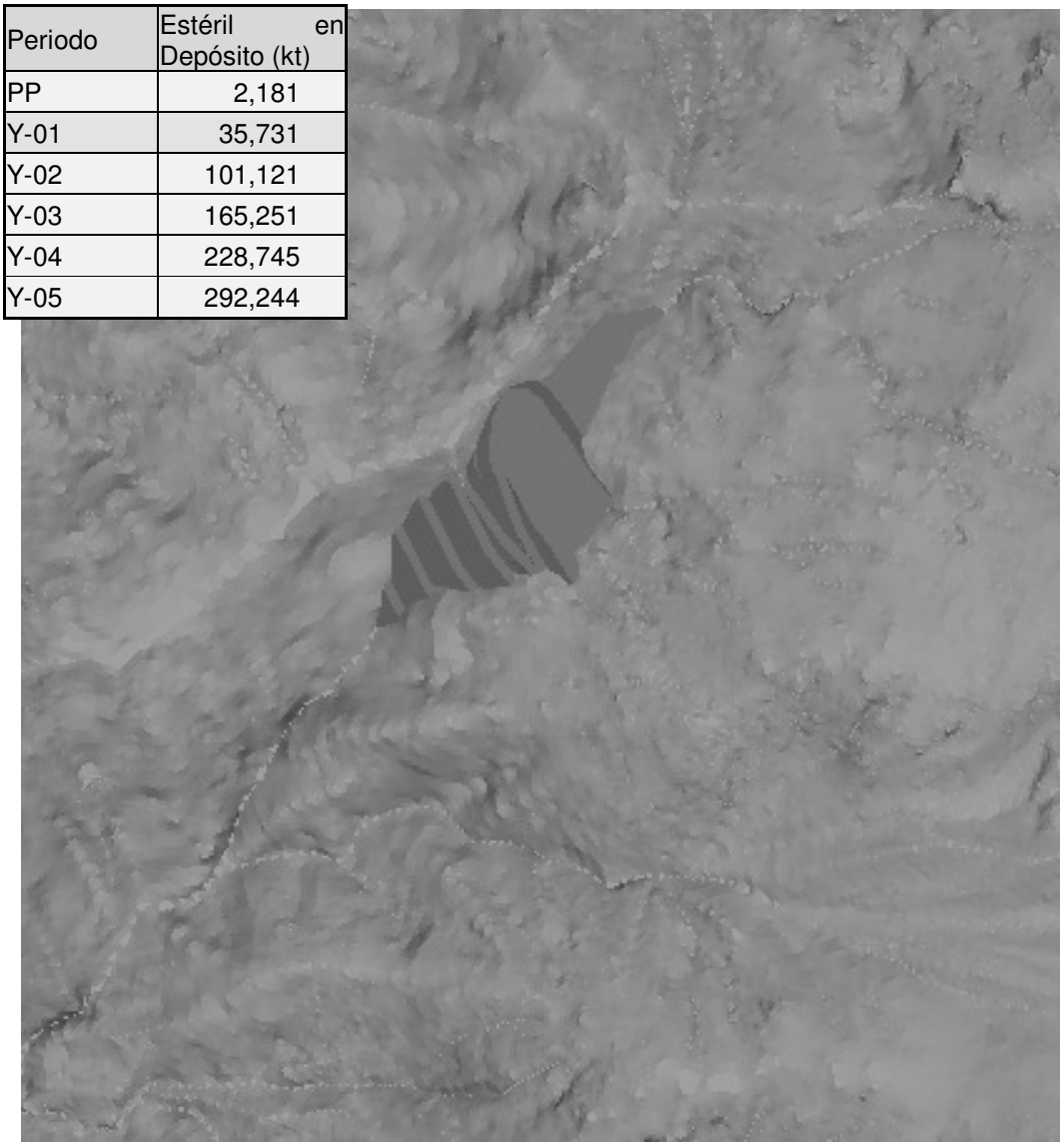
Mapa Anexo 2-22: Avance en el Depósito de Estériles (año 0 Pre-Producción)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



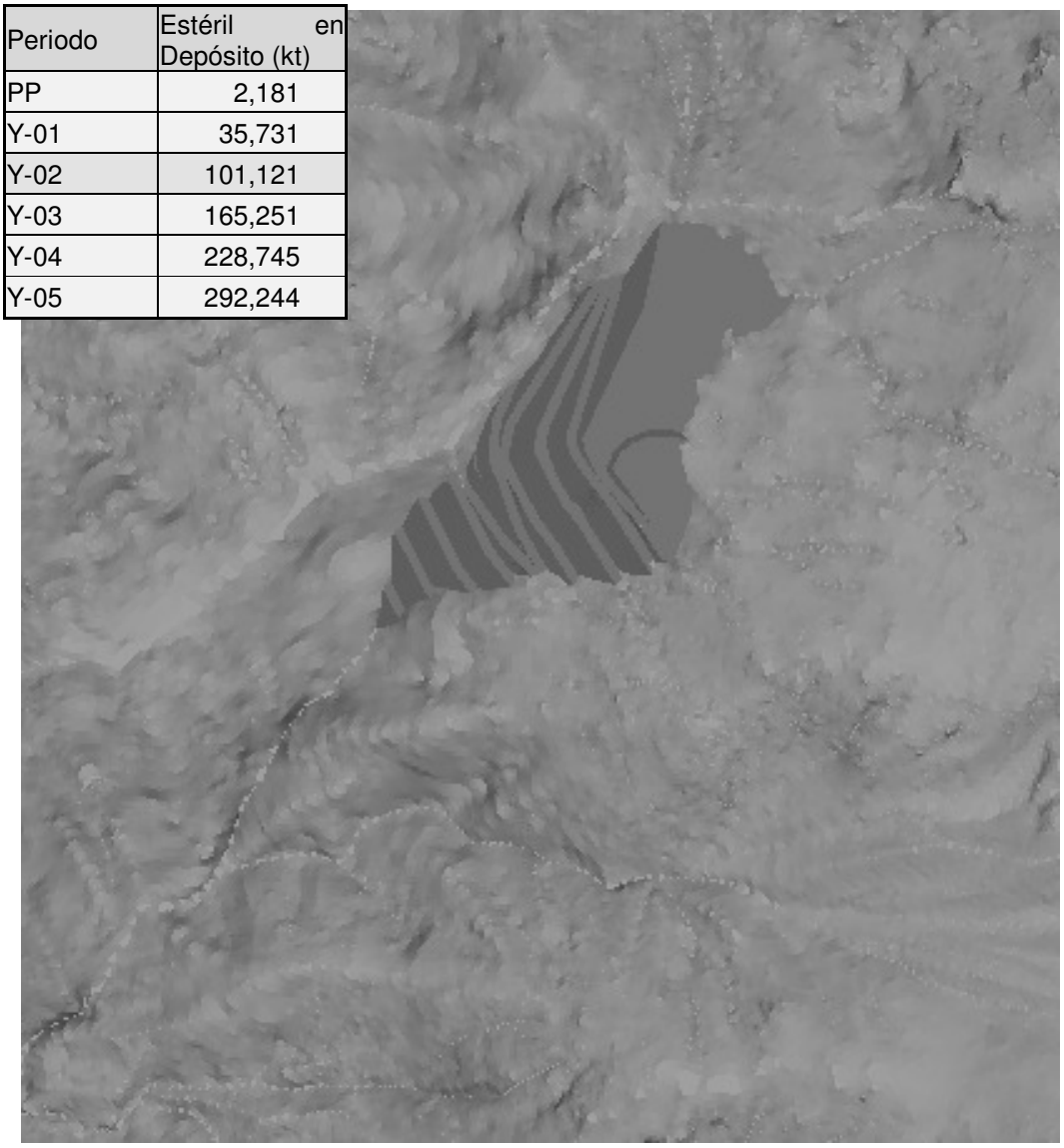
Mapa Anexo 2-23: Avance en el Depósito de Estériles (año 1)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



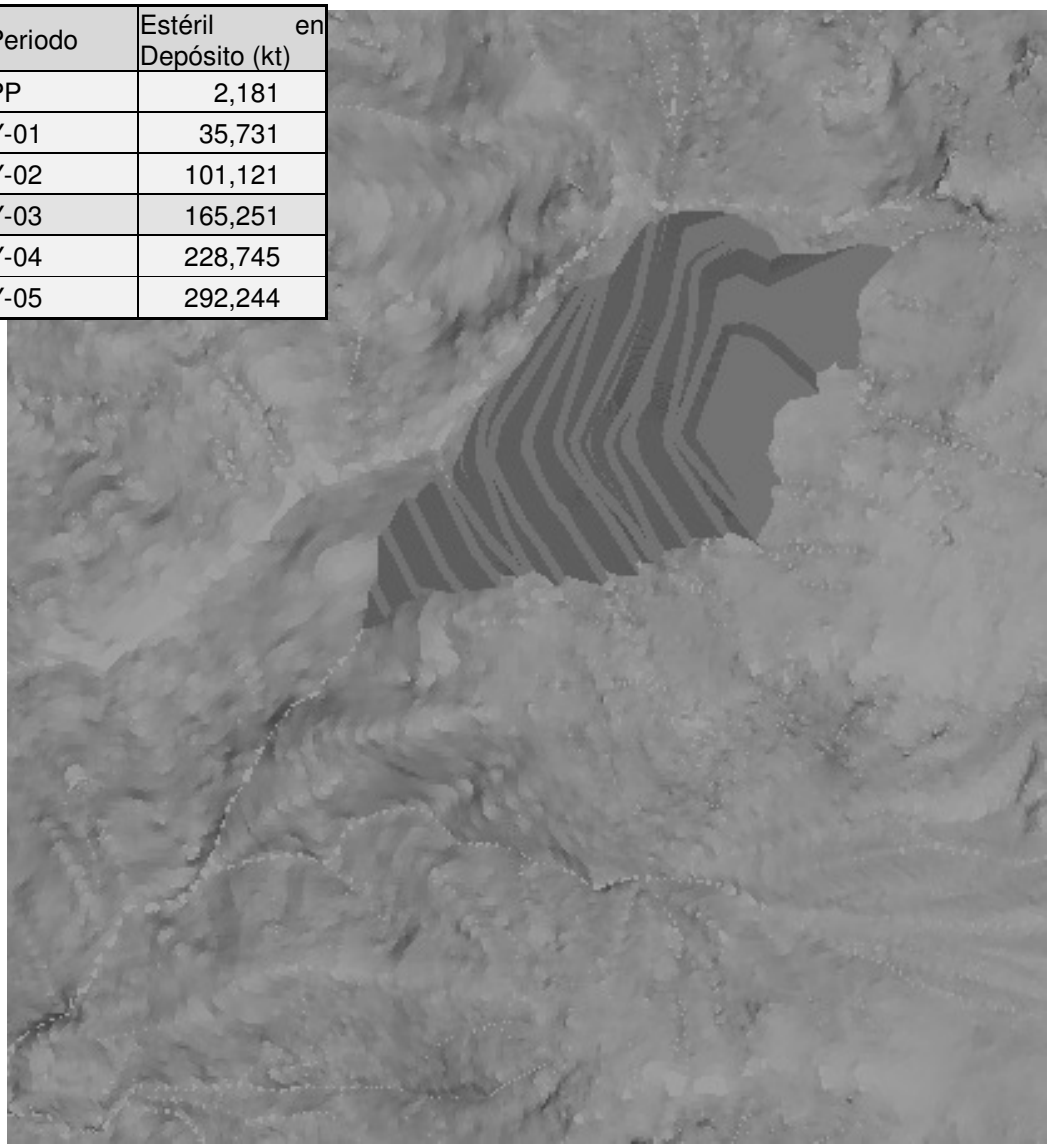
Mapa Anexo 2-24: Avance en el Depósito de Estériles (año 2)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



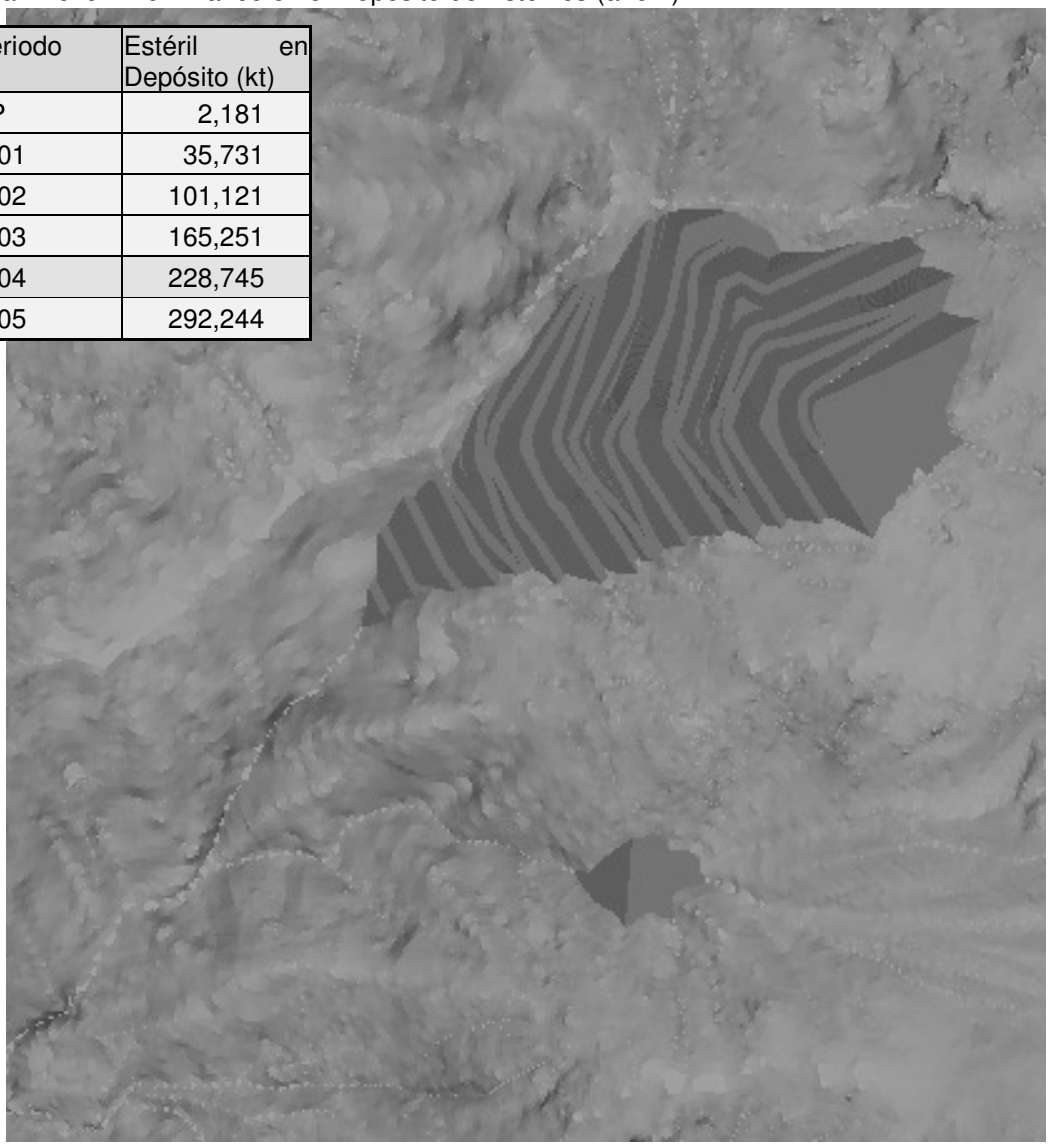
Mapa Anexo 2-25: Avance en el Depósito de Estériles (año 3)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



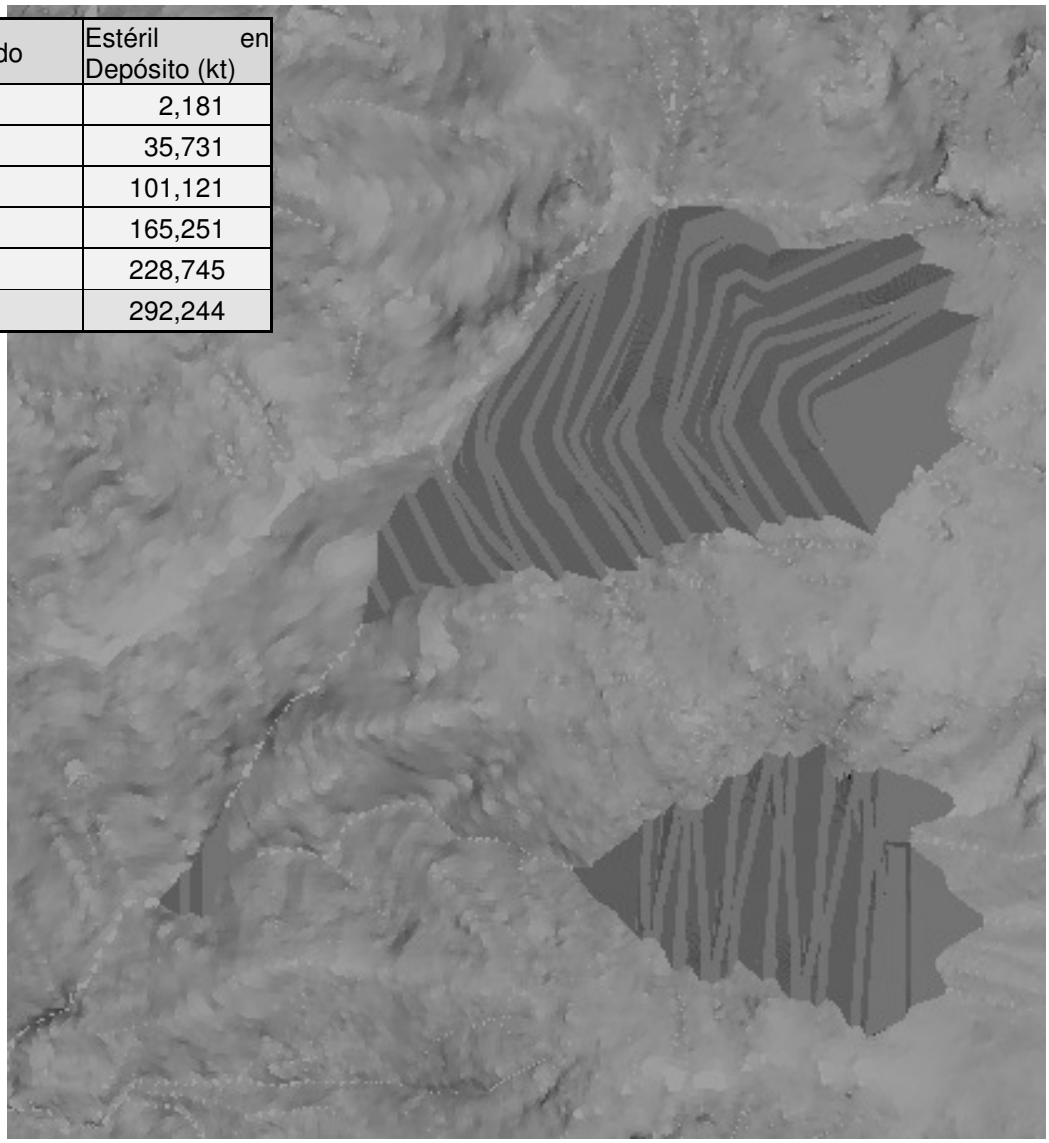
Mapa Anexo 2-26: Avance en el Depósito de Estériles (año 4)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



Mapa Anexo 2-27: Avance en el Depósito de Estériles (año 5)

Periodo	Estéril en Depósito (kt)
PP	2,181
Y-01	35,731
Y-02	101,121
Y-03	165,251
Y-04	228,745
Y-05	292,244



Mapa Anexo 2-28: Arreglo Final del Depósito de Estériles

Mapa Anexo 2-29: Avance Pila de Lixiviación Angostura (año 1)

Mapa Anexo 2-30: Avance Pila de Lixiviación Angostura (año 2)

Mapa Anexo 2-31: Avance Pila de Lixiviación Angostura (año 3)

Mapa Anexo 2-32: Avance Pila de Lixiviación Angostura (año 4)

Mapa Anexo 2-33: Avance Pila de Lixiviación Angostura (año 5)

Mapa Anexo 2-34: Avance Pila de Lixiviación de Páez (año 1)

Mapa Anexo 2-35: Avance Pila de Lixiviación de Páez (año 2)

Mapa Anexo 2-36: Avance Pila de Lixiviación de Páez (año 3)

Mapa Anexo 2-37: Avance Pila de Lixiviación de Páez (año 4)

Mapa Anexo 2-38: Avance Pila de Lixiviación de Páez (año 5)

Mapa Anexo 2-39: Arreglo Final Pila de Lixiviación de Angostura –Ultima Fase-

Mapa Anexo 2-40: Arreglo Final Pila de Lixiviación de Páez –Ultima Fase-

Mapa Anexo 2-41: Arreglo de la Planta de Beneficio y Aglomeración

Mapa Anexo 2-42: Arreglo en Perfil de la Zona de Trituración

Mapa Anexo 2-43: Arreglo en Planta de la Zona de Trituración

Mapa Anexo 2-44: Arreglo en Planta de Talleres, Oficinas y Laboratorios

Mapa Anexo 2-45: Arreglo en Planta del Campamento

ANEXO DE TABLAS

Tabla Anexa 2-1: Programa de Extracción en la Mina

Tabla Anexa 2-2: Principales Requerimientos de Equipos para la Extracción y sus Respectivas Flotas

Tabla Anexa 2-3: Data Histórica de Precipitación de la Estación Meteorológica Vetas-El Pozo
Ubicación de estación meteorológica Vetas- El Pozo
Latitud = 7O 19' N
Longitud = 72O 53' W
Elevación = 3220 m
Periodo de recolección de datos = 1971-2008
Precipitación promedio anual = 926 mm.

AÑO	MES												Precipitación total anual (mm)
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1971	40.4	11.0	66.7	114.1	188.0	59.0	28.0	63.0	163.0	162.0	100.0	48.9	1044.1
1972	85.0	109.0	111.0	295.0	80.0	60.0	17.0	24.0	49.0	102.0	74.0	72.0	1078.0
1973	4.0	34.7	59.0	132.0	17.0	35.0	63.0	120.0	152.0	114.0	132.0	91.0	953.7
1974	14.0	100.0	55.0	257.0	149.0	16.0	35.0	59.0	163.0	97.0	195.0	29.1	1169.1
1975	8.0	48.0	48.0	140.0	120.0	52.0	69.0	55.0	118.0	225.0	215.0	155.0	1253.0
1976	6.0	40.0	139.0	127.0	59.0	171.0	34.0	19.0	80.0	232.0	30.0	37.0	974.0
1977	2.0	0.3	45.0	60.0	92.0	137.0	29.0	41.0	94.0	151.0	153.0	3.9	808.2
1978	17.0	27.0	165.0	188.0	95.0	84.0	32.0	61.0	94.0	194.0	69.0	6.0	1032.0
1979	2.0	30.0	9.0	146.0	213.0	185.0	56.0	27.0	98.0	388.0	235.0	36.6	1425.6
1980	8.0	21.0	7.0	104.0	67.0	102.0	43.0	46.0	110.0	90.0	75.0	36.0	709.0
1981	5.0	109.0	26.0	290.0	309.0	79.0	53.0	224.0	154.0	171.0	42.0	15.0	1477.0
1982	27.0	116.0	29.0	264.0	252.0	24.0	14.0	24.0	63.0	80.0	93.0	26.0	1012.0
1983	2.5	4.0	7.0	297.0	132.0	58.0	43.0	26.0	21.0	29.0	7.0	22.0	648.5
1984	2.0	11.0	1.0	31.0	84.0	25.0	63.0	80.0	146.0	105.0	115.0	4.0	667.0
1985	15.0	6.0	64.0	160.0	185.0	36.0	12.0	27.0	134.0	192.0	98.0	41.0	970.0
1986	85.0	65.0	19.0	247.0	66.0	25.0	11.0	13.0	59.0	110.0	20.0	2.0	722.0
1987	12.0	20.0	5.0	65.0	115.0	7.0	18.0	10.0	129.0	280.9	206.0	6.0	873.9
1988	15.6	70.0	167.0	234.0	96.0	104.0	28.0	195.0	112.0	71.0	45.0	3.0	1140.6
1989	25.0	7.0	68.0	4.0	72.0	15.0	6.0	22.0	110.0	34.0	22.0	75.0	460.0
1990	54.0	62.0	92.0	49.0	42.0	16.0	56.0	134.0	57.0	212.0	127.0	109.0	1010.0
1991	11.0	14.0	166.0	158.0	98.0	19.0	45.0	37.0	106.0	77.0	188.0	18.0	937.0
1992	56.0	22.0	8.0	86.0	110.0	59.0	50.0	90.0	57.0	21.0	132.0	120.0	811.0

AÑO	MES												Precipitación total anual (mm)
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1993	72.0	7.0	31.0	145.0	222.0	27.0	23.0	19.0	183.0	67.0	104.0	5.0	905.0
1994	20.0	54.0	39.0	151.0	213.0	16.0	29.0	24.0	76.0	162.0	84.0	12.9	880.9
1995	18.4	14.0	43.0	139.0	117.0	118.0	25.0	136.0	105.0	199.0	8.0	25.0	947.4
1996	11.0	56.0	68.0	28.0	67.0	96.0	47.0	19.0	88.0	152.0	132.0	31.0	795.0
1997	19.0	19.0	103.0	98.0	66.0	76.0	33.0	2.0	57.0	131.0	31.0	15.0	650.0
1998	20.6	18.0	136.0	149.0	139.0	90.0	17.0	123.0	164.0	99.0	109.0	82.0	1146.6
1999	25.0	91.0	20.8	104.0	65.0	122.0	38.0	91.0	155.0	156.0	144.0	29.0	1040.8
2000	28.0	84.0	40.0	21.0	35.0	55.0	52.0	20.0	130.0	80.0	138.0	17.0	700.0
2001	1.7	3.0	28.0	15.0	55.0	20.0	39.0	23.0	29.0	74.0	34.0	40.0	361.7
2002	5.0	9.0	80.0	127.0	99.0	131.0	24.0	25.0	35.0	106.0	12.0	65.0	718.0
2003	26.0	12.0	64.0	169.0	52.0	84.0	97.0	43.0	85.0	170.0	77.0	42.0	921.0
Máximo	85.0	116.0	167.0	297.0	309.0	185.0	97.0	224.0	183.0	388.0	235.0	155.0	1477.0
Promedio	22.5	39.2	60.9	139.2	114.3	66.8	37.2	58.2	102.3	137.4	98.4	40.0	916.4
Mínimo	1.7	0.3	1.0	4.0	17.0	7.0	6.0	2.0	21.0	21.0	7.0	2.0	361.7

Tabla Anexa 2-4: Data Histórica de Evaporación de la Estación Meteorológica Berlín
Ubicación de estación meteorológica de Berlín

Latitud = 7O 11' N
Longitud = 72O 52' W
Elevación = 3214 m
Periodo de recolección de datos = 1978-2008
Precipitación promedio anual: 1182 mm

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1978	118.8	106.2	116.0	94.0	90.4	83.2	91.4	98.1	97.5	98.0	77.3	113.8	1,184.7
1979	142.3	126.3	122.5	96.7	93.1	71.8	103.6	93.3	80.0	75.0	68.5	103.2	1,176.3
1980	118.8	106.2	116.0	94.0	99.0	83.2	98.6	94.1	97.5	87.8	92.6	98.7	1,186.5
1981	162.7	103.1	148.4	85.4	82.7	71.8	96.5	84.2	95.9	91.7	111.2	105.4	1,239.0
1982	135.3	86.0	99.5	73.0	73.4	71.6	66.5	104.8	73.6	79.4	86.2	95.2	1,044.5
1983	131.6	119.0	129.2	78.2	71.9	87.5	84.9	95.6	91.5	95.6	105.6	95.2	1,185.8
1984	117.9	110.0	140.9	121.6	100.2	77.8	94.9	92.2	90.6	74.0	82.6	101.0	1,203.7
1985	99.6	106.2	116.0	90.2	67.3	58.3	61.5	105.7	88.7	72.6	82.1	72.0	1,020.2
1986	129.2	93.9	103.2	50.1	74.0	63.8	91.4	98.1	97.5	61.1	92.8	78.8	1,033.9
1987	118.8	106.2	122.6	105.8	87.6	86.4	91.1	112.5	116.4	81.5	76.3	108.0	1,213.2
1988	91.5	72.6	100.7	84.7	72.6	101.6	87.0	77.4	77.2	100.3	81.5	88.9	1,036.0
1989	97.4	91.2	110.4	105.5	73.3	89.5	69.5	107.2	77.4	97.7	78.4	95.0	1,092.5
1990	85.1	106.2	90.2	97.0	83.8	76.6	85.9	87.3	94.1	96.3	89.2	80.4	1,072.1
1991	89.2	96.8	72.2	90.1	108.3	95.7	81.4	80.5	112.0	97.5	80.8	101.5	1,106.0
1992	112.8	93.7	116.0	89.8	99.7	100.4	70.4	93.8	110.7	117.3	99.8	119.5	1,223.9
1993	117.5	89.9	126.6	95.1	87.9	88.6	92.7	108.5	98.0	94.3	92.4	94.3	1,185.8
1994	111.9	80.1	112.0	96.3	88.7	81.0	83.8	101.1	106.2	104.2	101.1	93.0	1,159.4
1995	85.3	106.2	109.3	86.0	99.8	86.3	103.0	82.5	103.5	97.2	105.7	102.1	1,166.9
1996	131.3	82.4	106.2	111.3	110.5	58.7	76.4	100.7	79.3	106.4	83.6	108.9	1,155.7
1997	118.8	106.2	116.0	94.0	90.4	83.2	91.4	98.1	97.5	90.1	111.4	136.8	1,233.9
1998	136.2	106.9	125.9	110.3	94.5	91.6	102.9	118.9	106.4	102.5	92.8	89.0	1,277.9
1999	111.8	79.5	122.1	95.1	85.3	83.0	109.3	77.4	96.1	89.8	100.9	104.0	1,154.3

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2000	103.4	98.0	105.4	102.6	101.7	89.0	98.3	108.8	101.5	92.5	101.3	95.5	1,198.0
2001	108.4	106.2	131.2	86.0	96.3	80.2	112.7	95.3	110.9	97.8	109.7	100.5	1,235.2
2002	129.7	130.1	93.7	102.5	96.1	75.8	91.9	107.4	120.8	111.3	113.3	117.5	1,290.1
2003	159.6	124.6	122.1	97.1	102.4	108.1	91.4	120.2	99.1	89.4	96.1	108.1	1,318.2
2004	131.5	154.9	131.0	102.3	87.2	94.0	102.1	109.3	104.8	103.2	104.0	114.3	1,338.6
2005	117.5	122.2	157.0	102.3	106.9	102.1	117.1	106.5	100.6	83.3	86.3	112.5	1,314.3
2006	111.7	110.3	102.4	68.8	81.7	83.2	91.4	98.1	97.5	92.1	92.8	101.0	1,131.0
2007	133.7	162.5	104.2	106.5	100.5	72.5	103.9	85.9	101.9	84.1	87.4	95.4	1,238.5
2008	122.7	109.6	126.7	101.9	94.9	83.2	91.4	98.1	97.5	92.1	92.8	101.0	1,211.9
Promedio	118.8	106.2	116.0	94.0	90.4	83.2	91.4	98.1	97.5	92.1	92.8	101.0	1181.5
Maximo	162.7	162.5	157.0	121.6	110.5	108.1	117.1	120.2	120.8	117.3	113.3	136.8	1338.6
Minimo	85.1	72.6	72.2	50.1	67.3	58.3	61.5	77.4	73.6	61.1	68.5	72.0	1020.2
Desv Est.	18.8	19.5	16.9	13.6	11.5	11.8	12.9	11.1	11.3	11.7	11.5	12.6	83.6

Tabla Anexa 2-5: Criterios de Diseño para Balance de Agua

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
1.0	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE MINA		
1.1	Operación y explotación de reservas		
1.1.01	Tonelaje de alimentación de mineral	t	330,572,959
1.1.02	Tiempo de operación	años	15
1.1.03	Producción maxima promedio mineral año	t/día	70,000
		t/mes	2,129,167
		t/año	25,550,000
1.2	Características del Mineral de Mina		
1.2.01	Producto	ROM/Chancado	
1.2.02	Tamaño máximo mineral chancado	mm	19.0
1.3	Sistema de Transporte de mineral al pad de lixiviación		
1.3.01	Método de transporte		Camiones
1.3.02	Densidad, por peso (chancado)	t/m3	1.64
2.0	PARAMETROS DE DISEÑO DEL PAD		
2.1	Capacidad Requerida		
2.1.01	Capacidad final del pad	t	330,572,959
2.1.02	Densidad promedio mineral	t/m3	1.64
2.2	Estabilidad Física		
2.2.01	Altura típica de capa	m	8
2.2.02	Número de capas		
2.2.03	Ángulo de reposo del mineral	H:1V	1.35:1
2.2.04	Talud global del pad	H:1V	2.5:1
2.3	Sistema de subdrenaje y detección de fugas		
2.3.01	Sistema de Subdrenaje	Sí/No	Sí
2.3.01	Tipo de tuberías de subdrenaje	tipo	pared doble
2.3.01	Diámetro de tuberías principales de subdrenaje	mm	300
2.3.02	Sistema de detección de fugas por zonas	Sí/No	Sí
2.4	Impermeabilización		
2.4.01	Sistema de revestimiento	Simple/Doble	Simple

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
2.4.02	Material de revestimiento	HDPE/LLDPE	LLDPE
2.4.03	Tratamiento de superficial de la geomembrana	Textura	simple-texturada
2.4.04	Espesor del revestimiento	mm	2.0
2.4.05	Espesor de suelo de baja permeabilidad	mm	300
2.5	Colección de Solución		
2.5.01	Tipo de sistema de colección	gravedad/ bombeo	gravedad
2.5.02	Tipo de tuberías de colección de la solución	tipo	pared doble
2.5.03	Diámetro de tuberías principales de colección	mm	300-450
2.5.04	Diámetro de tuberías laterales de colección	mm	100
2.5.05	Espaciamiento de tuberías laterales	m	12
2.5.06	Altura máxima de la solución sobre tuberías colectoras	m	1.0
2.6	Camino de Acceso Perimetral		
2.6.01	Máxima pendiente acceso perimetral	%	25
2.6.02	Ancho superficie de rodadura acceso perimetral	m	6
2.6.03	Radio mínimo curva horizontal acceso perimetral	m	50
2.6.04	Peralte acceso perimetral	%	2
2.7	Drenaje Superficial / Periodos de retorno de tormenta de diseño		
2.7.01	Canales de derivación permanente (1)	años	500
2.7	Sistema de monitoreo ambiental (2)		
2.7.01	Diámetro de tuberías de monitoreo ambiental	mm	50
3.0	PARÁMETROS DE LIXIVIACIÓN		
3.1	Ciclo de Lixiviación		
3.0.01	Lixiviación por capas	Simple/Doble	Simple
3.0.02	Ciclo de lixiviación promedio	días	60
3.0.03	Tiempo de preparacion de area (inluyendo retiro de mangueras)	días	7
3.2	Tasa de aplicación		
3.2.01	Tasa de aplicación nominal (9.8 - 12)	L/hr/m2	10
3.3	Área bajo irrigación (3)		
3.3.01	Área bajo irrigación	m2	320,122

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
3.4	Flujo de solución de Lixiviación (4)		
3.4.01	Flujo máximo de solución de lixiviación	m3/hr	3,201
4.0	POZAS DE PROCESOS		
4.1	Conducción de Solución		
4.1.01	Tipo de sistema de transporte	gravedad/ bombeo	gravedad
4.2	Impermeabilización		
4.2.01	Sistema de revestimiento	Simple/Doble	Doble
4.2.02	Material de revestimiento	HDPE/LLDPE	HDPE
4.2.03	Tratamiento superficial de la geomembrana	Textura	Simple
4.2.04	Espesor del revestimiento	mm	1.5
4.2.05	Espesor del suelo de baja permeabilidad	mm	300
4.3	General		
4.3.01	Sistema de detección de fugas	Sí/No	Si
4.3.02	Borde Libre de las pozas de procesos	m	1.0
4.3.03	Vertedero entre pozas de procesos	Sí/No	Si
4.3.04	Parada de Bomba	h	24
4.3.05	Tipo de transporte del flujo de planta al pad	gravedad/ bombeo	gravedad
5.0	BALANCE DE AGUAS		
5.1	Propiedades del Mineral		
5.1.01	Humedad natural promedio (2-4.5%)		4.0
5.1.02	Humedad de lixiviación (8.5-12%)		14.5
5.1.03	Humedad retenida		7.7
5.1.04	Retencion especifica (1.5-5%)		4.5
5.2	Sistema de Riego		
5.2.01	Sistema de riego (Goteo/aspersión)	Goteo/Aspersion	Goteo
5.2.02	Tiempo de percolación libre (24-72hrs)	hrs	48

(1) El evento de diseño de los canales de coronación y derivación, estará en función de su carácter temporal o definitivo; acorde a los criterios de Diseño definidos en la guía

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO

ambiental para proyectos de lixiviación en pilas.

(2) El sistema de detección de Fugas será conectado a la Poza de Monitoreo Ambiental

(3) El área bajo irrigación es calculada a partir de la producción diaria, ciclo de lixiviación, densidad del mineral y altura de capa típica.

(4) El flujo de solución es calculado como el producto de la tasa de aplicación y el área bajo riego.

Tabla Anexa 2-6: Cálculo de Caudales Ecológicos para Fuentes de Abastecimiento de Agua Fresca: Embalses El Salado y Pajarito

Tabla Anexa 2-7: Cálculo de Caudales Ecológicos para Fuentes de Abastecimiento de Agua Fresca: Captación Directa Quebrada Angosturas

Tabla Anexa 2-8: Cálculo de Caudales Ecológicos para Fuentes de Abastecimiento de Agua Fresca: Captación Directa Quebrada Páez

Tabla Anexa 2-9: Listado de Equipos de Planta de Beneficio y Transformación de Minerales del Proyecto Angostura

Nombre de Equipo	Descripcion	No. de Unidades	Potencia Instalada (kW)
Semi-mobile Crushing Plant	63" x 89" Primary Crusher	1	600
	Hydraulic Rock Breaker	1	112
	Apron Feeder	1	450
Secondary Cone Crusher	MP1000 Std	2	745
Tertiary Cone Crusher	MP1000 Std	4	600
Secondary Screen	Banana 10' x 24'	6	75
3105-CV-001 Coarse Ore Conveyor	1524 mm x 99 m	1	450
3110-CV-001 Coarse Ore Stockpile Feed Conveyor	1524 mm x 152 m	1	600
3110-CV-002 Sulphide Stockpile Reclaim Conveyor	914 mm x 87 m	1	75
3110-CV-003 Sulphide Coarse Ore Transfer Conveyor	914 mm x 51 m	1	55
3110-CV-004/5 Oxide Stockpile Reclaim Conveyors	1067 mm x 96 m	2	150
3115-CV-001/2 Tertiary Screen Feed Conveyors	1067 mm x 23 m	2	30
3115-CV-003 Oxide/Sulphide Ore Conveyor	762 mm x 59 m	1	30
3115-CV-004/5 Fine Oxide Ore Conveyors	762 mm x 22 m	2	18.5
3115-CV-006 Fine Oxide Ore Conveyor	1067 mm x 65 m	1	75
3115-CV-007 Oxide/Sulphide Recirculation Conveyor	914 mm x 57 m	1	37
3115-CV-008 Oxide/Sulphide Recirculation Conveyor	762 mm x 20 m	1	30
3115-CV-009 Oxide/Sulphide Recirculation Conveyor High angle	914 mm x 38 m,	1	150
3205-CV-001 Grinding Sulphide Ore Conveyor	762 mm x 73 m	1	15
3210-CV-001 Ball Mill Feed Conveyor	762 mm x 102 m	1	15
3340-CV-001 Sulphide Gold Concentrate Conveyor (Future)	457 mm x 62 m	1	7.5
3725-CV-001 Angostura Heap Leach Pipe Conveyor #1	600 mm x 975 m	1	4300
3725-CV-002 Angostura Heap Leach Pipe Conveyor #2	600 mm x 975 m	1	4300
3725-CV-003 Páez Heap Leach Overland Conveyor (Future)	1524 mm x 4390 m	1	7500
3725-CV-004 Tailings Filtered Conveyor		1	30
3725-CV-005 Tailings Agglomerated Conveyor		1	150
3725-CV-006 Agglomeration Drum Feed Conveyor		1	30
3110-FE-001@004 Sulphide Stockpile Reclaim Belt Feeders	1067 mm x 11 m	4	56
3110-FE-005@010 Oxide Stockpile Reclaim Belt Feeders	1524 mm x 12 m	6	112
3115-FE-001@004 Tertiary Crusher Feed Belt Feeders	1524 mm x 9.3 m	4	112
3205-FE-001@004 Grinding Stockpile Reclaim	914 mm x 11 m	4	15

Nombre de Equipo	Descripcion	No. de Unidades	Potencia Instalada (kW)
Belt Feeders			
3340-FE-001@002 Concentrate Belt Feeders	610 mm x 10 m	2	7.5
Ball Mill	5 m x 7.5 m	1	3728
Cyclone Cluster	eight by 20“cyclones	1	
Cyclone Feed Pump	10 x 8	2	250
Positive Displacement Slurry Pump		2	1400
Rougher Flotation Cells	50 m3	6	75
Cleaner Flotation Cells	30 m3	4	45
Scavenger Flotation Cells	50 m3	6	75
Concentrate Thickener		1	3
Tailings Thickener	18 m diameter	1	6
Agglomeration Drum		1	170
Filter Press		2	300
PLS Solution Pumps Heap Leach Angostura		5	350
PLS Solution Pumps Heap Leach Páez (Future)		5	500
PLS Transfer Solution Pumps Heap Leach Páez (Future)		5	65
Barren Solution Pumps Heap Leach Angostura		5	650
Barren Solution Transfer Pump Heap Leach Angostura		5	700
Barren Solution Pumps Heap Leach Páez (Future)		5	1000
Barren Solution Transfer Pump Heap Leach Páez (Future)		5	1000
Merrill Crowe Package		6	
Flocculant Plant		1	
Frother Package		1	
Collector Package		2	
Lime Package		1	
Cyanide Package		1	

Tabla Anexa 2-10: Cronograma Detallado de Actividades para la Construcción, Montaje y Puesta en Marcha del Proyecto Angostura

Tabla Anexa 2-11: Programa Resumido de Actividades Principales

Tabla Anexa 2-12: Características del Mineral en las Pilas de Lixiviación

Resultados de Análisis Químicos y Caracterización del Mineral Tipo en Pilas de Lixiviación.				
Análisis	Unidad	Muestra		
		Óxidos	Transicionales	Sulfuros Intermedios
Au	g/t	0.68	1.07	1.29
Ag	g/t	5	8.00	7
Ag	ppm	4.09	9.87	5.18
Al	%	7.1	6.94	6.39
As	ppm	44.5	97.27	65.35
Ba	ppm	1,127	866.67	756.36
Be	ppm	5.58	4.13	5.13
Bi	ppm	5.55	4.68	2.97
Ca	%	0.057	0.06	0.08
Cd	ppm	0.09	0.06	2.78
Ce	ppm	44.6	55.97	47.30
Co	ppm	2.8	3.70	11.80
Cr	ppm	41	42.00	59.36
Cs	ppm	2.00	2.07	2.47
Cu	ppm	77.8	139.77	233.41
Fe	%	2.75	3.45	2.71
Ga	ppm	20.2	22.83	20.16
Ge	ppm	0.18	0.81	0.14
Hf	ppm	0.1	0.33	0.11
Hg	ppm	0.05	0.07	0.10
In	ppm	0.211	0.26	0.18
K	%	3.70	3.32	3.55
La	ppm	22.0	28.30	22.31
Li	ppm	7.1	5.80	7.75
Mg	%	0.33	0.33	0.35
Mn	ppm	139	105.67	129.09
Mo	ppm	8.62	16.50	8.75
Na	%	0.10	0.05	0.10
Nb	ppm	7.23	7.57	7.66
Ni	ppm	7.83	10.83	20.89
P	ppm	643	1070.00	657.27
Pb	ppm	253	528.33	366.25
Rb	ppm	205	194.50	182.09
Re	ppm	<0.002	0.00	0.002
S	%	0.28	0.98	2.40
Sb	ppm	5.28	18.07	19.07
Sc	ppm	13.90	14.10	14.95
Se	ppm	2.00	1.00	1.90
Sn	ppm	2.33	2.73	2.07

Resultados de Análisis Químicos y Caracterización del Mineral Tipo en Pilas de Lixiviación.				
Análisis	Unidad	Muestra		
		Óxidos	Transicionales	Sulfuros Intermedios
Sr	ppm	258.83	296.00	233.36
Ta	ppm	0.60	0.67	0.55
Te	ppm	2.88	4.86	4.45
Th	ppm	11.17	11.23	13.15
Ti	%	0.18	0.18	0.20
Tl	ppm	1.34	1.48	2.16
U	ppm	7.47	11.83	11.95
V	ppm	121.67	161.33	138.55
W	ppm	23.73	37.40	35.27
Y	ppm	8.07	12.53	11.33
Zn	ppm	35.67	36.00	199.18
Zr	ppm	2.4	11.43	1.55
Al2O3	%	14.53	14.02	14.35
BaO	%	0.13	0.09	0.09
CaO	%	0.06	0.06	0.21
Cr2O3	%	0.01	0.01	0.01
Fe2O3	%	3.99	4.77	3.74
K2O	%	4.60	4.17	4.80
MgO	%	0.73	0.64	0.83
MnO	%	0.02	0.02	0.03
Na2O	%	0.17	0.09	0.24
P2O5	%	0.15	0.23	0.15
SiO2	%	71.34	70.17	70.66
SrO	%	0.03	0.05	0.03
TiO2	%	0.43	0.57	0.50
LOI1)	%	3.53	4.51	4.11
Total	%	99.73	99.39	99.74
C (Total)	%	0.04	0.10	0.07
C (Organico)	%	0.03	0.03	0.02
C (Inorganic0)	%	<0.05	<0.05	<0.05
S (Total)	%	0.26	0.93	1.68
S (Sulfato)	%	0.14	0.23	0.21
S (Sulfuro)	%	0.13	0.59	1.38

Tabla Anexa 2-13: Balance de Masa del Proceso de Pilas de Lixiviación

Tabla Anexa 2-14: Características del Mineral a Flotación y Productos de la Flotación

Análisis y Caracterización del Mineral a Flotación y los Productos de Flotación				
Elemento analizado	Unidad	Mineral	Concentrado	Colas
Au	g/t	4.6	51.1	0.88
Ag	g/t	19.33	160.7	6
As	mg/kg	164	1500	32
Bi	mg/kg	13.55	160	<2
Ca	%	0.12	0.08	0.1
Cd	mg/kg	4.25	45	0.7
Cr	mg/kg	47	138	48
Cu	mg/kg	733	9300	143
Fe	%	4.07	33.9	1.31
Hg	mg/kg	0.3	0.4	0.1
Mo	mg/kg	26	193	12
Na	%	0.11	0.01	0.11
Ni	mg/kg	26.4	180	11
P	mg/kg	1,100	740	1190
Pb	mg/kg	785	530	805
S	%	4.41	>10	1.29
Sb	mg/kg	37.9	306	<5
Sc	mg/kg	12.6	7	12
Sr	mg/kg	340	222	368
Th	mg/kg	16.2	<20	20
Ti	%	0.221	0.13	0.22
Tl	mg/kg	3.8	30	<10
U	mg/kg	19.4	10	10
V	mg/kg	175	119	167
W	mg/kg	101	100	140
Zn	mg/kg	215	2310	36
Al2O3	%	12.62	5.49	12.83
BaO	%	0.1	0.04	0.09
CaO	%	0.15	0.08	0.13
Cr2O3	%	0.02	0.02	0.01
Fe2O3	%	5.82	50.35	1.87
K2O	%	3.76	1.41	3.78
MgO	%	0.66	0.3	0.66
MnO	%	0.02	0.01	0.02
Na2O	%	0.17	<0.01	0.18
P2O5	%	0.254	0.169	0.274
SiO2	%	68.54	11.94	72.88
SrO	%	0.05	0.02	0.05
TiO2	%	0.51	0.34	0.51
LOI1)	%	6.89	28	5.16
Total	%	99.56	98.17	98.45
S (Total)	%	4.38	43.7	n/a
S (Sulfato)	%	0.53	4.8	n/a
S (Sulfuro)	%	3.75	38.9	0.81

Tabla Anexa 2-15: Balance de Masa del Proceso de Flotación

Tabla Anexa 2-16: Resultados de Caracterización de Residuos Líquidos del Proceso

Análisis, mg/L	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Máximo	Promedio	Mínimo
Alcalinidad, CaCO3	1,900	1,800	3,400	1,900	1,200	3,400	2,040	1,200
CO3, CaCO3	350	430	800	1,100	670	1100	670	350
HCO3	1,600	1,300	2,600	<1.0	<1.0	2600	1100.4	<1.0
Hidróxido (OH)	<1.0	<1.0	<1.0	44	12	44	11.8	<1.0
Aluminio	6.8	3.1	12	45	0.3	45	13.44	0.3
Antimonio	0.069	<0.010	0.0044	2.9	0.065	2.9	0.60968	<0.010
Arsénico	0.15	0.056	0.11	6.5	0.085	6.5	1.3802	0.056
Bario	<0.050	<0.050	0.066	<0.010	<0.050	0.066	0.066	<0.010
Berilio	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0010	<0.0050	<0.0050	<0.0050	<0.0010
Bismuto	<0.50	<0.50	<0.50	0.79	<0.50	0.79	0.558	<0.50
Boro	1.2	0.61	1.6	1.4	<0.50	1.6	1.062	<0.50
Cadmio	<0.0050	0.0064	0.042	0.043	0.3	0.3	0.07928	<0.0050
Calcio	6.2	3.1	9.5	5.5	210	210	46.86	3.1
Cloro	170	430	200	66	170	430	207.2	66
Cromo	0.036	0.054	0.035	0.018	<0.025	0.054	0.0336	<0.025
Cobalto	0.067	0.06	0.22	0.092	0.42	0.42	0.1718	0.06
Cobre	11	14	14	290	55	290	76.8	11
Cianuro WAD	40	43	32	1,300	1,100	1,300	503	32
Flúor	<10	<10	14	27	2.5	27	12.7	<10
Galio	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Hierro	18	4	2.8	9	16	18	9.96	2.8
Plomo	<0.050	<0.050	<0.050	0.17	<0.050	0.17	0.074	<0.050
Litio	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Magnesio	<2.5	<2.5	<2.5	<0.50	<2.5	<2.5	<2.5	<0.50
Manganeso	0.032	<0.025	0.072	0.079	1.8	1.8	0.4016	<0.025
Mercurio	0.016	0.027	0.019	0.34	0.047	0.34	0.0898	0.016
Molibdeno	0.85	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.07	0.85
Níquel	0.096	0.17	0.14	0.95	2.8	2.8	0.8312	0.096
Nitrato	<1.0	2.9	3.6	<1.0	<1.0	3.6	1.9	<1.0
Nitrito	<1.0	<1.0	<1.0	42	40	42	17	<1.0
pH	9.76	9.8	8.38	10.3	10.03	10.3	9.654	8.38
Fosforo	<2.5	<2.5	<2.5	2.6	<2.5	2.6	2.6	<2.5
Potasio	30	48	24	130	92	130	64.8	24
Escandium	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Selenio	<0.015	<0.025	<0.015	0.012	<0.0050	<0.025	0.0144	<0.0050

Análisis, mg/L	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Máximo	Promedio	Mínimo
Plata	0.54	0.39	0.91	1.3	<0.050	1.3	0.638	<0.050
Sodio	2,500	2,000	2,000	2,600	2,000	2,600	2,220	2,000
Estrontium	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Azufre como sulfato	2,400	1,200	370	2,000	2,100	2,400	1,614	370
Talio	<0.010	<0.0010	<0.0050	<0.050	<0.0050	<0.0050	<0.050	<0.0010
Tin	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Titanio	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10	<0.50	<0.50	<0.50	<0.10
Sólidos Disueltos Totales	6,600	5,000	5,100	7,700	5,900	7,700	6,060	5,000
Vanadio	<0.050	<0.050	0.056	0.15	<0.050	0.15	0.0712	<0.050
Zinc	1.0	2.8	4.4	9.9	25	25	8.62	1
Cationes, meq/L	112	89.5	90.2	132	103	132	105.34	89.5
Aniones, meq/L	93	73.4	83.6	134	114	134	99.6	73.4
Balance, %	9.3	9.9	3.8	<1.0	4.9	9.9	6.975	3.8

Tabla Anexa 2-17: Resultados de Caracterización de los Residuos Líquidos de Contacto

Análisis, mg/L	Primer muestreo	Segundo muestreo	Tercer muestreo
Alcalinidad, CaCO3	(560)	(270)	(93)
CO3, CaCO3	N/A	N/A	N/A
HCO3	N/A	N/A	N/A
Aluminio	78	35	7.9
Antimonio	<0.0025	<0.0025	<0.0025
Arsénico	<0.0050	<0.0050	<0.0050
Bario	0.095	0.021	<0.010
Berilio	0.029	0.021	0.0092
Bismuto	<0.10	<0.10	<0.10
Boro	<0.10	<0.10	<0.10
Cadmio	0.0066	0.0056	0.0016
Calcio	58	43	22
Cloro	17	11	1.8
Chromo	0.064	0.020	0.0074
Cobalto	0.73	0.46	0.11
Cobre	30	18	5.1
Fluor	1.0	0.99	0.25
Galio	<0.10	<0.10	<0.10
Hierro	37	15	2.2
Plomo	<0.050*	<0.010	<0.010
Lithio	<0.10	<0.10	<0.10
Magnesio	13	13	3.7
Manganeso	2.2	1.9	0.50
Mercurio	<0.00010	<0.00010	<0.00010
Molibdeno	<0.010	<0.010	<0.010
Nickel	0.89	0.59	0.16
Nitrato	<2.0*	<1.0	<1.0
Nitrito	<0.050*	<0.025	<0.025
pH	3.35	3.66	3.51
Fosforo	<0.50	<0.50	<0.50
Potasio	25	14	6.4
Scandium	<0.10	<0.10	<0.10
Selenio	<0.0050	<0.0050	<0.0050
Plata	<0.0050	<0.0050	<0.0050
Sodio	8.7	5.4	0.98
Strontium	0.22	0.11	<0.10
Azufre como sulfato	1,300	450	140
Talio	0.0072	0.0039	0.0013
Estaño	<0.10	<0.10	<0.10
Titanio	<0.10	<0.10	<0.10
Sólidos Disueltos Totales	1,100	700	200
Vanadio	<0.010	0.020	<0.010
Zinc	0.72	0.80	0.31
Cationes, meq/L	22.4	11.9	3.74
Aniones, meq/L	27.6	9.73	2.98
Balance, %	10	10	11

Tabla Anexa 2-18: Caracterización de Residuos Líquidos de Contacto por Análisis de Movilidad de Metales por Meteorización

Análisis, mg/L	Muestra
Alcalinidad, CaCO3	(300)
CO3, CaCO3	N/A
HCO3	N/A
Aluminio	38
Antimonio	<0.0025
Arsénico	<0.0050
Bario	0.056
Berilio	0.016
Bismuto	<0.10
Boro	<0.10
Cadmio	0.0050
Calcio	42
Cloro	14
Chromo	0.021
Cobalto	0.44
Cobre	19
Fluor	0.82
Galio	<0.10
Hierro	18
Plomo	<0.010
Lithio	<0.10
Magnesio	9.8
Manganeso	1.2
Mercurio	<0.00010
Molibdeno	<0.010
Nickel	0.51
Nitrato	<1.0
Nitrito	<0.025
pH	3.59
Fosforo	<0.50
Potasio	15
Scandium	<0.10
Selenio	<0.0050
Plata	<0.0050
Sodio	5.8
Strontium	0.11
Azufre como sulfato	720
Talio	0.0043
Estaño	<0.10
Titanio	<0.10
Solidos Disueltos Totales	680
Vanadio	<0.010
Zinc	0.51
Cationes, meq/L	12.4
Aniones, meq/L	15.4
Balance, %	11

Tabla Anexa 2-19: Caracterización de Residuos Líquidos de Contacto por Análisis de Potencial de Generación Acida – Prueba Estática

Composito	Pasta	Azufre, porcentaje en peso (como azufre)							
Designación	pH	Total	SO4	Pirita S=	Non-Ext S	AGP1)	ANP	NNP	Ratio
W-01 Comp	4.09	1.65	0.52	0.96	0.17	30.0	<0.3	-30.0	<0.01

1) AGP based on Pyritic S= content (%S= x 31.25). AGP, ANP and NNP in units of tons $CaCO_3$ equivalents per 1000 tons of solids.

Tabla Anexa 2-20: Demanda de Agua para la Mina y proceso

Tabla Anexa 2-21: Criterios de Diseño para el Balance de Agua

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
1.0	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE MINA		
1.1	Operación y explotación de reservas		
1.1.01	Tonelaje de alimentación de mineral	t	330,572,959
1.1.02	Tiempo de operación	años	15
1.1.03	Producción maxima promedio mineral año	t/día	70,000
		t/mes	2,129,167
		t/año	25,550,000
1.2	Características del Mineral de Mina		
1.2.01	Producto	ROM/Chancado	
1.2.02	Tamaño máximo mineral chancado	mm	19.0
1.3	Sistema de Transporte de mineral al pad de lixiviación		
1.3.01	Método de transporte		Camiones
1.3.02	Densidad, por peso (chancado)	t/m3	1.64
2.0	PARAMETROS DE DISEÑO DEL PAD		
2.1	Capacidad Requerida		
2.1.01	Capacidad final del pad	t	330,572,959
2.1.02	Densidad promedio mineral	t/m3	1.64
2.2	Estabilidad Física		
2.2.01	Altura típica de capa	m	8
2.2.02	Número de capas		
2.2.03	Ángulo de reposo del mineral	H:1V	1.35:1
2.2.04	Talud global del pad	H:1V	2.5:1
2.3	Sistema de subdrenaje y detección de fugas		
2.3.01	Sistema de Subdrenaje	Sí/No	Sí
2.3.01	Tipo de tuberías de subdrenaje	tipo	pared doble
2.3.01	Diámetro de tuberías principales de subdrenaje	mm	300
2.3.02	Sistema de detección de fugas por zonas	Sí/No	Sí
2.4	Impermeabilización		

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
1.0	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE MINA		
2.4.01	Sistema de revestimiento	Simple/Doble	Simple
2.4.02	Material de revestimiento	HDPE/LLDPE	LLDPE
2.4.03	Tratamiento de superficial de la geomembrana	Textura	simple-texturada
2.4.04	Espesor del revestimiento	mm	2.0
2.4.05	Espesor de suelo de baja permeabilidad	mm	300
2.5	Colección de Solución		
2.5.01	Tipo de sistema de colección	gravedad/ bombeo	gravedad
2.5.02	Tipo de tuberías de colección de la solución	tipo	pared doble
2.5.03	Diámetro de tuberías principales de colección	mm	300-450
2.5.04	Diámetro de tuberías laterales de colección	mm	100
2.5.05	Espaciamiento de tuberías laterales	m	12
2.5.06	Altura máxima de la solución sobre tuberías colectoras	m	1.0
2.6	Camino de Acceso Perimetral		
2.6.01	Máxima pendiente acceso perimetral	%	25
2.6.02	Ancho superficie de rodadura acceso perimetral	m	6
2.6.03	Radio mínimo curva horizontal acceso perimetral	m	50
2.6.04	Peralte acceso perimetral	%	2
2.7	Drenaje Superficial / Periodos de retorno de tormenta de diseño		
2.7.01	Canales de derivación permanente (1)	años	500
2.7	Sistema de monitoreo ambiental (2)		
2.7.01	Diámetro de tuberías de monitoreo ambiental	mm	50
3.0	PARAMETROS DE LIXIVIACIÓN		
3.1	Ciclo de Lixiviación		
3.0.01	Lixiviación por capas	Simple/Doble	Simple

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
1.0	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE MINA		
3.0.02	Ciclo de lixiviación promedio	días	60
3.0.03	Tiempo de preparacion de area (inluyendo retiro de mangueras)	días	7
3.2	Tasa de aplicación		
3.2.01	Tasa de aplicación nominal (9.8 - 12)	L/hr/m2	10
3.3	Área bajo irrigación (3)		
3.3.01	Área bajo irrigación	m2	320,122
3.4	Flujo de solución de Lixiviación (4)		
3.4.01	Flujo máximo de solución de lixiviación	m3/hr	3,201
4.0	POZAS DE PROCESOS		
4.1	Conducción de Solución		
4.1.01	Tipo de sistema de transporte	gravedad/ bombeo	gravedad
4.2	Impermeabilización		
4.2.01	Sistema de revestimiento	Simple/Doble	Doble
4.2.02	Material de revestimiento	HDPE/LLDPE	HDPE
4.2.03	Tratamiento de superficial de la geomembrana	Textura	Simple
4.2.04	Espesor del revestimiento	mm	1.5
4.2.05	Espesor de suelo de baja permeabilidad	mm	300
4.3	General		
4.3.01	Sistema de detección de fugas	Sí/No	Si
4.3.02	Borde Libre de las pozas de procesos	m	1.0
4.3.03	Vertedero entre pozas de procesos	Sí/No	Si
4.3.04	Parada de Bomba	h	24
4.3.05	Tipo de transporte del flujo de planta al pad	gravedad/ bombeo	gravedad
5.0	BALANCE DE AGUAS		
5.1	Propiedades del Mineral		
5.1.01	Humedad natural promedio (2-4.5%)		4.0

	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CRITERIO USADO
1.0	PARÁMETROS DE OPERACIÓN DE MINA		
5.1.02	Humedad de lixiviación (8.5-12%)		14.5
5.1.03	Humedad retenida		7.7
5.1.04	Retencion especifica (1.5-5%)		4.5
5.2	Sistema de Riego		
5.2.01	Sistema de riego (Goteo/aspersión)	Goteo/Aspersion	Goteo
5.2.02	Tiempo de percolación libre (24-72hrs)	hrs	48

(1) El evento de diseño de los canales de coronación y derivación, estará en función de su carácter temporal o definitivo; acorde a los criterios de Diseño definidos en la guía ambiental para proyectos de lixiviación en pilas.

(2) El sistema de detección de Fugas será conectado a la Poza de Monitoreo Ambiental

(3) El área bajo irrigación es calculada a partir de la producción diaria, ciclo de lixiviación, densidad del mineral y altura de capa típica.

(4) El flujo de solución es calculado como el producto de la tasa de aplicación y el área bajo riego.

Tabla Anexa 2-22: Flujos de Filtraciones en el Tajo

PIT - DRAINAGE AREAS & SEEPAGE FLOW

Year	In pit cachtment area	Out of pit catchment area	Seepage Flows	Seepage Flows
	(Ha)	(Ha)	(L/s)	(m3/h)
1	0,3	237,4	2,1	7,6
2	4,3	233,4	2,1	7,6
3	34,9	202,9	4,8	17,2
4	83,9	153,9	7,5	26,9
5	134,8	102,9	8,7	31,2
6	166,3	71,5	9,9	35,6
7	185,8	51,9	10,7	38,6
8	200,4	37,3	11,6	41,6
9	205,0	32,7	10,5	37,9
10	207,9	29,9	9,5	34,1
11	216,9	20,9	11,6	41,9
12	224,3	13,4	13,8	49,6
13	227,7	10,0	16,7	60,0
14	232,9	4,8	19,6	70,4
15	234,7	3,0	23,3	84,0
16	237,7	0,0	27,1	97,6
17	237,7	0,0	31,1	111,8

Tabla Anexa 2-23: Demanda de Agua para Uso Doméstico y para Planta de Procesos

ANEXO DE DOCUMENTOS

Documento Anexo 2-1: Sección de Corte del Sistema de Subdrenaje de las Pilas de Lixiviación

Documento Anexo 2-2: Vista en Planta del Sistema de Subdrenaje de la Pila de Lixiviación de Angostura

Documento Anexo 2-3: Secuencia de Construcción de Pilas de Lixiviación
Limpieza y desbroce de material inadecuado (incluye suelo vegetal ó “topsoil”, turbas, arcillas blandas, todo material no adecuado para cimentación).

Instalación del Sistema de sub-drenaje (los materiales necesarios para esta actividad son: grava para drenaje y tuberías del tipo “HDPE” de pared doble de diferente diámetro). El sistema de sub-drenaje captara las aguas subterráneas. Adicionalmente, se instalará un sistema de monitoreo para controlar la calidad de agua procedente del sistema de sub-drenaje. Este sistema está conformado por un grupo de tuberías sólidas de “HDPE” SDR 17 de 50 mm, perforadas y/o ranuradas en los primeros 20 m, y serán dirigidas junto con las tuberías de sub-drenaje principales hacia la poza de sub-drenaje ubicada aguas abajo de la poza de procesos.

Cortes y rellenos para nivelación (generalmente se realizarán los rellenos con material propio, en algunos casos se necesitaría material de préstamo).

Colocación de una capa de 300 mm de suelo de baja permeabilidad (permeabilidad menor a 5 x 10-6 cm/s) en taludes menos empinados de 1.5H:1V o “GCL” (revestimiento geo-sintético de arcilla, conductividad Hidráulica de 5 x 10-11 m/s) para taludes más empinados de 1.5H:1V.

Instalación de una geo-membrana del tipo “LLDPE” de 2 mm de espesor. En las pozas de solución se colocará doble geo-membrana de “HDPE” de 1.5 mm y una geo-net o geo-compuesto para el sistema de detección de fugas.

Instalación del sistema de colección, el cual consiste en tuberías de “HDPE” de pared doble (interior lisa y exterior corrugada) de diferente diámetro y conducirán la solución hacia la poza de solución. La grava para drenaje se colocará alrededor de las tuberías principales, además de facilitar el drenaje de la solución hacia las tuberías de colección, provee protección al sistema de tuberías principales para disminuir las deflexiones en las mismas, producto del peso del mineral desde el carguío inicial hasta la configuración final de la pila.

Colocación de una capa de 500 a 1,000mm de “overliner” (sobre-revestimiento), es una grava cuya finalidad es la de facilitar la colección de la solución, actuando como un elemento de drenaje y a la vez que de protección del sistema de revestimiento y las tuberías de colección de solución, para evitar posibles daños ocasionados por el sistema de transporte y esparcido del mineral en la pila de lixiviación.

Documento Anexo 2-4: Sistema de Monitoreo entre las Capas Impermeables de la Poza de Operaciones

Documento Anexo 2-5: Sistema de Colección de Soluciones en las Pilas de Lixiviación

Documento Anexo 2-6: Flujograma General de los Procesos de Beneficio y Transformación de Minerales del proyecto Angostura

Documento Anexo 2-7: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 95 (máximo) en Temporada Húmeda

Documento Anexo 2-8: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 50 (promedio) en Temporada Húmeda

Documento Anexo 2-9: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 5 (mínimo) en Temporada Húmeda

Documento Anexo 2-10: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 95 (máximo) en Temporada Seca

Documento Anexo 2-11: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 50 (promedio) en Temporada Seca

Documento Anexo 2-12: Diagrama de Balance de Aguas a Percentil 5 (mínimo) en Temporada Seca