

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL DEL
SECTOR A - MINA CALENTURITAS, PROPIEDAD DE C.I PRODECO S.A, LA
LOMA, CESAR”**

GERARDO EMILIO ORTÍZ RAMÍREZ

COD: 200820068

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS
SOGAMOSO – BOYACÁ
Septiembre 2014**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL DEL
SECTOR A - MINA CALENTURITAS, PROPIEDAD DE C.I PRODECO S.A, LA
LOMA, CESAR”**

GERARDO EMILIO ORTÍZ RAMÍREZ

COD: 200820068

***“Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero en Minas en la modalidad de práctica empresarial”***

Director:

JAIME WILLIAM JOJOA MUÑOZ

Ingeniero en minas.

Codirector:

JORGE ILLIDGE RICAURTE

Ingeniero Mecánico.

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD SEDE SECCIONAL SOGAMOSO

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

SOGAMOSO – BOYACÁ

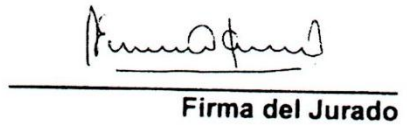
Septiembre 2014

Nota de Aceptación:


Firma del Director de Escuela


Firma del Director del Proyecto


Firma del Jurado


Firma del Jurado

Sogamoso, Octubre de 2014.

**“LA AUTORIDAD CIENTÍFICA DE LA FACULTAD SEDE SECCIONAL
SOGAMOSO RESIDE EN ELLA MISMA, POR LO TANTO NO RESPONDE DE
LAS OPINIONES EXPRESADAS EN ESTE PROYECTO”**

SE AUTORIZA LA REPRODUCCION INDICANDO SU ORIGEN

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis padres, Aida Esther Ramírez y Edgar Emilio Ortiz (Q.E.P.D) por apoyarme incondicionalmente, por todos los valores que inculcaron en mí, por su sabiduría, que hoy salen a fruto con su hijo y por haberme dado la oportunidad de tener una mejor educación.

A mis hermanos, por ser parte importante de vida y estar siempre unidos apoyándonos unos con los otros. A Edgar Alexander, por darme siempre motivación para seguir adelante y confiar siempre en mí.

A mi compañera Nerika Beleño, por regalarme lo más preciado que tengo, mi juankmilo (hijo), por ser siempre incondicional y apoyarme para cumplir todas mis metas.

A mi grandes amigos: Wendy Muñoz, Camilo Barreto, Álvaro Lozano, Jorge Chinome, Carlos Andrés Fragozo por confiar y creer en mi y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores: Jorge Arturo Martínez Ávila, Jaime William Jojoa, Segundo Manuel Romero, por haber compartido conmigo sus conocimientos.

Gerardo Emilio Ortiz Ramírez

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primeramente a Dios.

A la empresa C.I. PRODECO S.A.

A Jorge Illidge Ricaurte, Codirector del proyecto, por creer en mí, y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi proyecto en la mina, por permitirme crecer profesionalmente y adquirir nuevos conocimientos.

A Jaime William Jojoa Muñoz, Ingeniero en Minas, Director del proyecto, docente de la Escuela de Ingeniería de Minas, Sede Seccional Sogamoso.

A Nancy Moreno, Ingeniero de Minas, Jurado del proyecto.

A Pascual Fonseca, Jurado del proyecto.

A la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, por brindarme la oportunidad de ser un Profesional íntegro y con sentido de responsabilidad y pertenencia.

A profesores, amigos y compañeros por el apoyo y la contribución para sacar este proyecto adelante y realizarme como profesional.

RESUMEN

El objetivo de este Proyecto es realizar la optimización de los sistemas de bombeo existentes en la Mina calenturitas, donde se analizaran cada uno de los parámetros básicos hidrología, precipitación, hidrogeología, caudales, secuencia de operación y condiciones actuales de la Mina.

En una segunda fase se realizarán los cálculos correspondientes a las cargas dinámicas de diseño, pérdidas de las tuberías, cálculo de los volúmenes de agua que se producen en el área aferente de acuerdo al método de la curva numérica, para determinar la capacidad de bombeo requerida y con esto establecer el equipo que cumpla con estas características.

El proyecto **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL DEL SECTOR A MINA CALENTURITAS, PROPIEDAD DE C.I PRODECO S.A, UBICADA EN EL CORREGIMIENTO DE LA LOMA, EL PASO, CESAR”** se enfoca principalmente en el manejo y control de las aguas persistentes en el sector A, realizando un balance hídrico del área aferente con el fin de garantizar la capacidad del sistema y controlar todas las aguas superficiales de la mina, para mantener condiciones de trabajo óptimas y minimizar la cantidad de aguas en circulación en las áreas de operación.

INTRODUCCIÓN

El contrato aprendiz de obras civiles y bombas con duración de seis meses en la empresa C .I PRODECO S.A (mina Calenturitas), se definió en distintas etapas. La primera, corresponde al entrenamiento de seguridad y políticas de la empresa con el fin de realizar las actividades del día a día cumpliendo con las indicaciones y los estándares de la empresa. La segunda etapa se afianza en el reconocimiento de los equipos de cargue y acarreo, los equipos de bombeo; su administración, planificación y diseño.

La tercera etapa se enfoca el desarrollo de los proyectos en los que el estudiante participa. Para este caso, estandarizar la presentación de los planes de obras civiles, crear bases de datos de los equipos de bombeo y el proyecto más importante asignado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO PRINCIPAL DEL SECTOR A MINA CALENTURITAS, PROPIEDAD DE C.I PRODECO S.A, LA LOMA, CESAR”**.

El objetivo principal del presente proyecto es optimizar las líneas de bombeo de tal manera que contribuyan al manejo y control de las aguas que entran en contacto con la mina (tanto superficiales como subterráneas) logrando que este se realice de la manera más controlada posible. Por lo anterior, y teniendo en cuenta que uno de los mayores problemas que se puede evidenciar en la minería a cielo abierto es la presencia de agua dentro del pit especialmente en época de lluvia, ocasionando suspensión temporal de las actividades de los equipos de cargue y acarreo afectando la producción, se hace necesaria la implementación de un sistema de bombeo. La mina Calenturitas no es la excepción, por lo que ha tenido horas perdidas de operación hasta de 12hr/turno, hasta llegar a que en el año 2013 se perdieran 558 horas debido al deficiente manejo y control de las aguas. Estas mismas responsables de las infiltraciones de escorrentía y flujos subterráneos que entran en contacto gracias a la gran profundidad de la excavación por debajo de los niveles freáticos de la zona, por lo cual las explotaciones establecen puntos de drenajes de descargas, de escorrentías y flujo subterráneo.

La metodología empleada para implementar el sistema de bombeo, se define en la medición de las áreas aferentes del tajo considerando el plan trimestral de operaciones.

El cálculo de los volúmenes de agua que se producen en el área aferente se realiza de acuerdo al método de la curva numérica. Con estos volúmenes, se calcula el caudal de bombeo mínimo para que se cumpla su extracción en diez días, se comparan los caudales obtenidos, determinándose así cuales equipos cumplen con estos requerimientos.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	14
1. GENERALIDADES	14
2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	15
3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA	16
3.1 CARGO ASIGNADO	16
3.2 FUNCIONES ASIGNADAS	16
3.3 CAPACITACIONES	17
4. APORTES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	18
4.1 APORTES DE EMPRESA A LA FORMACIÓN PROFESIONAL	18
4.2 APORTES DE LA PRÁCTICA A LA EMPRESA	18
CONCLUSIONES	19
RECOMENDACIONES	20
II. INFORME TECNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL	21
1. GENERALIDADES	21
1.1 LOCALIZACIÓN Y RASGOS FISIOGRAFICOS	21
1.2 HIDROGEOLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	23
1.3 GEOLOGÍA	23
1.3.1 Geología general.	23
1.3.2 Geología del yacimiento.	24
1.4 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN Y MINERÍA	26
1.4.1 Geometría del Tajo.	28
1.4.2 Operación Minera.	28
1.5 EQUIPOS	34
1.5.1 EXCAVADORAS HIDRÁULICAS	36
1.5.2 Equipos de Acarreo	40
1.5.3 Equipos Auxiliares	43
2. BASE TEÓRICA	47

2.1. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE BOMBEO	49
2.1.1 Pérdidas de Carga en tuberías	51
2.1.2 Cálculo de la potencia hidráulica (WHP) y de la potencia al freno (BHP).	54
2.1.3 NPSH.	55
3 DRENAJE EN LA MINA	57
3.1 DESAGÜE DE LOS PIT	58
3.2 TIEMPO DE INACTIVIDAD EN EL NIVEL AFECTADO	58
3.3 EVENTOS DE LLUVIA	58
3.4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE	62
4 SISTEMA DE DRENAJE	63
4.1 DRENAJE EN UN NIVEL DE BANCO	63
4.2 DRENAJE DE LOS BOTADEROS	65
4.3 CONSIDERACIONES EN EL MANEJO DE DRENAJES	65
4.4 CRITERIOS GENERALES PARA DETERMINAR CAUDALES DE DISEÑO	66
4.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR CAUDALES DE DISEÑO	68
5 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CANALES (SUMIDEROS)	70
6 SISTEMA DE BOMBEO	72
6.1 EQUIPOS EXISTENTES PARA LA RED DE BOMBEO	72
6.2 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL SISTEMA DE BOMBEO	73
6.3 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO	75
6.4 DISEÑO DE LA RED DE BOMBEO	78
7 ANALISIS DE COSTOS	83
8 PLAN DE CONTINGENCIA	85
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXOS	

LISTADO DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Coordenadas Geográficas de la Mina Calenturitas	21
Cuadro 2. Características de los métodos de explotación	27
Cuadro 3. Ventajas y desventajas de cada método de explotación	27
Cuadro 4. Parámetros para el diseño minero	28
Cuadro 5. Equipos de Minería.	35
Cuadro 6. Viscosidad cinemática	52
Cuadro 7. Rugosidad absoluta (ϵ) en tubos comerciales.	52
Cuadro 8. Mina Calenturitas histórico de horas pérdidas por lluvia.	59
Cuadro 9. Precipitación y evaporación media en la zona de la mina	60
Cuadro 10. Precipitaciones máximas puntuales de 24 horas	60
Cuadro 11. Clasificación de la precipitación según la intensidad(mina Calenturita)	61
Cuadro 12. Clasificación de la precipitación según la intensidad	62
Cuadro 13. Diseño sistema de bombeo nivel 3 sector A	78
Cuadro 14. Tamaño de Tubería por la Capacidad del flujo.	80
Cuadro 15. Costos de materiales	84

LISTADO DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización Geográfica Mina Calenturitas	22
Figura 2. Sectores de la Mina Calenturitas	25
Figura 3. Actividades de perforación	29
Figura 4. Actividades de Voladura	30
Figura 5. Remoción de estériles	30
Figura 6. Extracción de material	31

Figura 7. Cargue de estéril	32
Figura 8. Transporte de estéril	32
Figura 9. Patio de acopio	33
Figura 10. Disposición de material estéril en botadero.	34
Figura 11. Pala Hidráulica Frontal CAT 6060	36
Figura 12. Pala Hidráulica Frontal O&K RH340	37
Figura 13. Pala EX3600FS	38
Figura 14. Pala Retroexcavadora EX3600BH	38
Figura 15. Pala EX2500 BH	39
Figura 16. Pala Ex1900BH	40
Figura 17. Camión 777F	40
Figura 18. Camión Flota 789C	41
Figura 19. Camiones 793D y 793C	42
Figura 20. Camiones Hitachi EH4000	43
Figura 21. Cargador 998H	44
Figura 22. Tractor de oruga CAT D9	45
Figura 23. Tanquero 777F	46
Figura 24. Motoniveladora 16M	46
Figura 25. Clasificación de bombas:	48
Figura 26. Parámetros para determinar la carga dinámica total del sistema	50
Figura 27. Diagrama de Moody	53
Figura 28. Pérdidas en accesorios.	54
Figura 29. Altura de aspiración neta positivo	56
Figura 30. Labores de drenaje (canales perimetrales).	57
Figura 31. Histórico de tiempos de pérdidas por lluvia	59
Figura 32. Secciones típicas de Canales y Diques.	64
Figura 33. Detalle de bermas y cunetas normas estándares	64
Figura 34. Gráfica de la ecuación de Escorrentía.	67
Figura 35. Sumidero Sector C&D	70
Figura 36. Sistemas de rebombeo o boosters.	71
Figura 37. FHL225M Dri-Prime Pump Flygt.	72
Figura 38. Curva de trabajo	74
Figura 39. Sistema de bombeo	75
Figura 40. Proyección del sistema de bombeo.	76

Figura 41. Bomba HL260 de godwin pumps.	79
Figura 42. Curvas características para determinar el rendimiento del equipo. Para la primera estación.	81
Figura 43. Curvas características para determinar el rendimiento del equipo. Para la segunda estación.	82

LISTADO DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Costo total del proyecto	84

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. Plano general de la concesión

Anexo B. Plano geológico del sector

Anexo C. Columna estratigráfica regional y local

Anexo D. Histórico de la precipitación Mina CALENTURITAS

Anexo E. Diagrama de la bomba HL 260 GODWIN PUMPS

Anexo F. Partes de la bomba HL260

Anexo G. Componentes del sistema de bombeo

Anexo H. Tablas de pérdidas por fricción en tuberías de diferentes diámetros HDPE.

I. INFORME DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1. GENERALIDADES

Prodeco es un grupo propiedad de Glencore International Plc (Glencore), que comprende las operaciones colombianas de Glencore para la exportación de carbón térmico y metalúrgico y su infraestructura asociada. Exploramos, producimos, transportamos y embarcamos carbón térmico y metalúrgico de alto grado procedente de nuestras minas. El carbón térmico es usado para la generación de electricidad en plantas eléctricas de carbón y como combustible para calderas. Para El carbón metalúrgico es usado por mercados productores de metales. Los principales mercados para ambos tipos de carbón son Europa y varios países del continente americano.

Hacia 1995 Glencore adquiere a CI Prodeco S.A. (incluyendo Puerto Zúñiga, la mina de Calenturitas y la mina de Cerrejón Central). En 2004 Prodeco inicia la producción en la mina de Calenturita, el año siguiente Glencore adquiere la mina de Carbones de La Jagua (CDJ); en el 2006 Glencore adquiere el 36% de la red local de ferrocarril (Fenoco) y adquiere la mina de Consorcio Minero Unido (CMU) (que era propietario de un 3.6% de Fenoco). A mediados de 2007 Glencore adquiere la mina de Carbones El Tesoro (CET), completando así la adquisición del 100% de la mina de La Jagua. Para 2008 Por primera vez, la Mina Calenturitas transporta carbón en tren. En 2009 Prodeco inicia la construcción de Puerto Nuevo, luego en 2010 esta misma produce 10 millones de toneladas de carbón.

Calenturitas es una mina a cielo abierto que produce carbón térmico bajo en azufre y de alto poder calorífico. La infraestructura para el manejo de carbón, cuya construcción terminó en marzo de 2009, tiene la capacidad de triturar entre 15 y 17 millones de toneladas anuales y tiene una capacidad anual de carga de trenes y de mezclar carbón entre 22 y 23 millones de toneladas. La capacidad de las instalaciones de manejo y mezcla de carbón permiten mezclar el carbón según los requerimientos específicos del cliente y optimizar nuestros flujos de productos.

El recurso base de la mina de Calenturitas al 31 de diciembre de 2010 era de 400 millones de toneladas. Actualmente se espera que la vida útil de la mina (LOM, sus siglas en inglés) sea de 20 años.

2. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

OBJETIVO GENERAL

“Diseñar e implementar el sistema de bombeo principal del sector A mina Calenturitas, propiedad de C.I PRODECO. La Loma, cesar”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir las labores existentes dentro de la operación minera, en el sector A de la mina Calenturitas.

Conocer la hidrología existente y la precipitación promedio en el área de la mina.

Definir las afectaciones causadas por el agua en la operación minera del sector A en la mina Calenturitas.

Determinar el Balance hídrico en el sector A de la mina Calenturitas.

Calcular, seleccionar y diseñar los equipos necesarios para el sistema de bombeo.

Determinar la capacidad del sistema de bombeo.

Instalar y poner en marcha del sistema de bombeo.

3. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

3.1 CARGO ASIGNADO

Ingeniero Practicante de Obras Civiles y Bombas.

3.2 FUNCIONES ASIGNADAS

El desarrollo de la práctica empresarial en la Mina Calenturitas, posee diversas funciones enfocadas al desarrollo del proyecto, dentro de ellas tenemos:

Monitoreo de los equipos de bombeo de la mina calenturitas. Consistía en llevar control y vigilancia de los equipos de bombeo, en cuanto a funcionamiento y ubicación.

Planeación y seguimiento a las tareas realizadas por el departamento de Obras Civiles.

Compra de los equipos utilizados por el departamento de Obras Civiles y Bombas mediante el programa SAP.

Investigación bibliográfica. De manera clara y precisa investigar todo lo concerniente al diseño y optimización de sistemas de bombeo en minería a cielo abierto, así como también la teoría de los coeficientes de pérdidas, las cargas estáticas, diseños.

Toma de datos mediante fluxómetro. Durante un periodo de 15 días se tomaron mediciones en los equipos de Bombeo para determinar caudales y presiones en busca de poder cuantificar la cantidad de flujo que se está bombeando y verificar la eficiencia de los equipos.

Análisis Datos. Después de la toma de datos viene un análisis y filtrado de los datos para así poder caracterizar verdaderamente la eficiencia de las bombas y ver si se está lejos de lo planeado.

Diseño y entrega de los nuevos planes semanales y mensuales de bombeo.

3.3 CAPACITACIONES

La primera capacitación que se realiza es la inducción, la cual consiste en una charla realizada la primera semana de incorporación a la empresa. Se hace con la finalidad de conocer las políticas y normativas de seguridad de la empresa, para poder desarrollar las actividades del día a día, cumpliendo con las indicaciones y los estándares de la empresa. Luego se realiza otra capacitación en todo lo concerniente a la operación, equipo, y maquinaria utilizadas; realizada por el superintendente de Planeación a corto plazo. además se recibe una capacitación de nivelación de pala con nivel laser, la cual se hace para que los supervisores lleven la cota del corte establecida por servicios técnicos, esta capacitación fue dada por servicios Topográficos.

Luego se realiza una capacitación suministrada por la empresa en el software SAP utilizado para todo el proceso de compra de materiales para la operación, el cual tuvo una duración de 10 días, dada por el superintendente de Obras Civiles y Bombas.

Una de las capacitaciones más enriquecedoras se hace por la empresa GODWIN PUMPS, dada por Tomas Fernández, Latín American Región Manager. Donde se explicaron todos los parámetros a tener en cuenta, para la implementación de un equipo de bombeo, utilizando las curvas características establecidas por esta empresa para mejorar la eficiencia de las bombas.

4. APORTES DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

4.1 APORTES DE EMPRESA A LA FORMACIÓN PROFESIONAL

Esta práctica aportó a mi formación profesional la oportunidad de conocer el campo laboral, poner a prueba todos los conocimientos adquiridos durante los años de estudio y conocer a ciencia cierta cuales son las fortalezas y debilidades , aprender a tomar decisiones, controlar, vigilar procesos en minería a cielo abierto para lograr obtener buenos rendimientos.

Complementar mis conocimientos en diseños de sistemas de bombeo y administración de equipos. Además de estos también se adquirió conocimientos en drenajes, direccionamiento de aguas y manejo de software como SAP y Minex.

4.2 APORTES DE LA PRÁCTICA A LA EMPRESA

Con esta pasantía se inicia la apertura de un trabajo de apoyo en el departamento de obras civiles y bombas, en el cual se reorganiza el departamento, se establecen planes de trabajo, se ordena el programa de compras.se realiza seguimiento y administración a los materiales utilizados.

Unos de los aportes más importantes fue haber cumplido con los objetivos planteados al inicio de la pasantía los cuales eran encaminados a optimizar los sistemas de bombeo, puesto que se realiza con más de tres estaciones de bombeo, ocasionando mayor costo en el proceso de evacuación del agua .Con este proyecto, se realiza la mejora en la línea de bombeo implementando equipos de mayor capacidad de carga y capacidad de evacuación.

CONCLUSIONES

En esta pasantía se logró de forma satisfactoria cumplir con los objetivos planteados por la empresa, en los cuales su finalidad era poder mejorar el sistema de evacuación y reorganizar el departamento de obras civiles y bombas. También se realiza las actualizaciones de base de datos de equipos de bombeo, para poder llevar un control y tener los materiales en stock para cualquier requerimiento conllevando esto a una organización más eficiente y de forma inmediata para no retrasar el proceso productivo de la operación.

Se define de forma gratificante un modelo para la presentación de planes mensuales por parte del departamento de obras civiles y bombas a la parte administrativa de la mina basándonos en los estándares establecidos por la empresa.

RECOMENDACIONES

Establecer un cronograma de actividades a futuros aprendiz para que puedan desarrollar su proceso de formación a cabalidad en la empresa, teniendo en consideración la limitante del factor tiempo.

Para garantizar un buen rendimiento al momento de la puesta en marcha de los equipos de bombeo se debe tener en cuenta las pérdidas de los sistemas en los diseños.

De parte de la Universidad hacer mayor seguimiento al proceso de formación que brinda las empresas a sus estudiantes.

Establecer estándares para la divulgación de los planes semanales y/o mensuales a los supervisores de obras civiles y bombas.

II. INFORME TECNICO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

1. GENERALIDADES

1.1 LOCALIZACIÓN Y RASGOS FISIOGRAFICOS

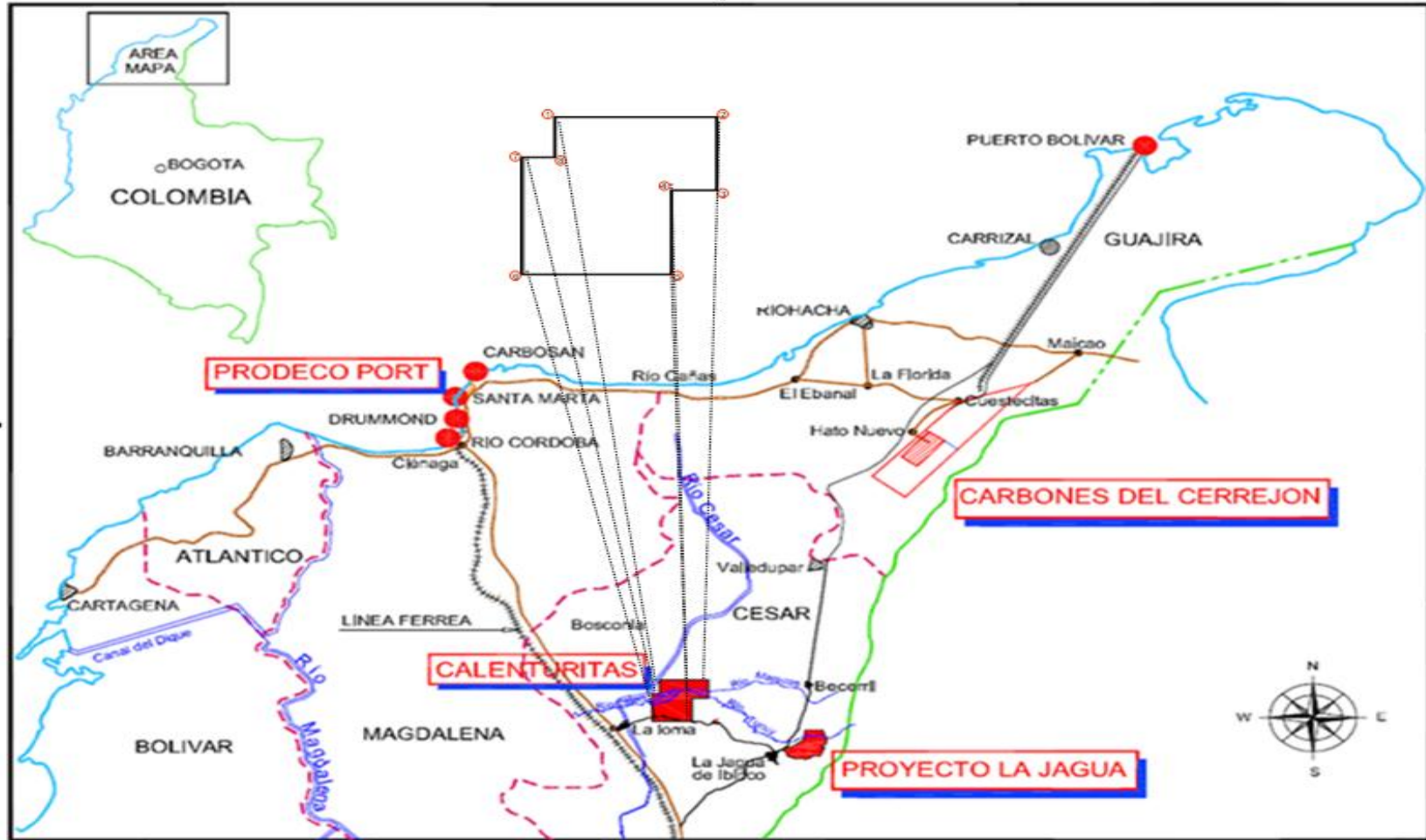
Mina Calenturitas contrato de concesión 044-89 (ver figura 1) se encuentra ubicada geográficamente en el centro del departamento del Cesar, entre los municipios de El Paso, Becerril y La Jagua de Ibirico. Los anteriores municipios se encuentran en la zona centro del departamento del Cesar ubicado en el distrito minero de la Jagua de Ibirico, aproximadamente a 200 kilómetros al sur del distrito portuario de Santa Marta. Por el municipio de El Paso donde se localiza el proyecto minero, más preciso en el corregimiento de La Loma de Calenturas, surca la troncal de magdalena (Ruta Nacional 45), esta vía pavimentada conecta el área de Loma con Valledupar y las ciudades de Barranquilla y Santa Marta hacia el norte, con Tamalameque y Bucaramanga hacia el sur. A unos 14 Km del sitio denominado Cruce La Loma hacia el Caserío Plan Bonito, se encuentra el proyecto con coordenadas previamente establecidas (ver cuadro 1). Una carretera secundaria pasa a 12 Km al este del proyecto y conecta las poblaciones de Rincón Hondo, La Jagua de Ibirico, Becerril y Codazzi con Valledupar. La red local de transporte dentro del área carbonífera está formada por numerosos carreteables que interconectan las haciendas y veredas de la localidad. (Ver Anexo A).

Cuadro 1. Coordenadas Geográficas de la Mina Calenturitas

X	Y
1'062.500	1'565.500
1'069.500	1'562.000
1'068.000	1'557.000
1'061.370	1'563.000

Fuente: información servicios técnicos mina Calenturitas

Figura 1. Localización Geográfica Mina Calenturitas



Fuente: información servicios técnicos mina Calenturitas

1.2 HIDROGEOLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

Los estudios hidrológicos fueron realizados por INTEGRAL S.A. en el año 2002, y los resultados están consignados en el informe “Mina de carbón Calenturitas.

Según los estudios existentes la temperatura media es de unos 28,2 °C, siendo los meses más cálidos enero y febrero y los de menor temperatura octubre y noviembre, la temperatura media mensual a lo largo del año, presenta una variación máxima de 4 °C.

La humedad relativa media estimada en la zona de la mina es de 87,5 % presentándose valores máximos de 91% y mínimos de 62%; los meses de mayor humedad relativa media son septiembre, octubre, noviembre y los de menor humedad son enero, febrero y marzo.

El brillo solar mensual, tiene un promedio de 211 horas que equivalen a unas 7,1 horas diarias. Los meses de mayor brillo solar son enero seguido por diciembre y julio alcanzando valores promedio diarios de hasta 10,5 horas y los de menor brillo solar son mayo, septiembre y octubre con valores promedios diarios de 4,2 horas.

La precipitación total promedio anual se estima en 1,473 mm, siendo los meses de septiembre y octubre los de mayor precipitación con 217 y 223 mm respectivamente, y los meses de enero y febrero de menor lluvia con 11 y 25 mm respectivamente.

La evaporación total promedio anual para la zona de la mina se estima en 1,201 mm, siendo los meses de enero, febrero y marzo los de mayor evaporación, con 122, 114 y 115 mm respectivamente y los de menor evaporación junio, julio y noviembre con 86, 88 y 87 mm respectivamente.

1.3 GEOLOGÍA

1.3.1 Geología general. La zona carbonífera del César pertenece a la denominada Cuenca del César-Ranchería y hace parte de la región Serranía de Perijá, cuya nomenclatura se basa en los trabajos de Govea & Dueñas (1975)¹, en Arias & Morales (1994)². La Mina Calenturitas se localiza en jurisdicción de los municipios de El Paso y La Jagua de Ibirico, en la zona más occidental del departamento del

¹GOVEA, C.; DUEÑAS, E. 1975. Informe geológico preliminar de la Cuenca del Cesar. ECOPEPETROL. Informe 390, 37 p. Bogotá.

²ARIAS, A.; MORALES, C. 1994. Informe geológico del Departamento del Cesar. INGEOMINAS, Bogotá.

César, en límites con Venezuela; geográficamente, la zona está ubicada entre la Serranía del Perijá al Este y las estribaciones de la Cordillera Oriental al Oeste.

Regionalmente, en el sector Este afloran las rocas más antiguas, correspondientes a las formaciones de edad Paleozoicas (Unidad Metasedimentaria de La Virgen y Grupo Cachirí), de edad Mesozoica (Formación La Quinta), de edad Cretácica (Formación Río Negro y Grupo Cogollo) y del Paleógeno y del Neógeno (Formaciones Barco, Los Cuervos y Cuesta). En el sector Oeste, de topografía plana, sólo afloran rocas del Paleógeno y del Neógeno (Formaciones Los Cuervos y Cuesta) y depósitos recientes, (ver anexo C). Presenta la geología y la columna estratigráfica para el entorno regional.

A nivel regional las rocas Terciarias se encuentran afectadas por esfuerzos tectónicos, los cuales se manifiestan mediante pliegues tipo sinclinales y anticlinales entre los que sobresalen los de La Loma, El Descanso y EL Boquerón, productos de una fase compresiva con orientación noroeste.

1.3.2 Geología del yacimiento. El Sinclinal de La Loma junto con los sinclinales de El Descanso, La Jagua, Boquerón, La Palmita, La Miel y La Esperanza forman el gran sinclinorio que conforma la cuenca Cesar.

La estructura regional corresponde a un sinclinal compuesto de una serie plegada de sinclinales amplios asimétricos con anticlinales apretados y fallados entre ellos. Las fallas son longitudinales con rumbo N45°-50°E, paralelas a las estructuras regionales, con poca expresión superficial por la cubierta de aluviones y suelos residuales. Estas fallas afectan de manera regional toda la secuencia Estratigráfica desde la Formación Luna hasta La Formación Cuesta.

El proyecto Calenturitas se encuentra ubicado en el sinclinal de La Loma ubicado en dirección del Noreste al Sureste, es asimétrico y se profundiza hacia el Sureste. El flanco Oeste del sinclinal tiene buzamientos entre 40 SE a 50 SE grados, mientras que, a lo largo del flanco Este los buzamientos son menores y están en el orden de 14 SW a 18 SW grados, que tiende a coincidir con el cambio del rumbo más hacia la dirección Norte-Sur.

El mapa geológico de la Mina Calenturitas (ver anexo B) en el área donde se cierra el sinclinal, hacia la parte Noroeste de la concesión, los buzamientos varían entre 5 y 10 grados. Trabajos anteriores han estimado que el hundimiento del eje del sinclinal está en el orden de los 10 grados.

Para un mejor análisis, ingenieros consultores, propusieron una interpretación estructural detallada donde se tienen identificadas aéreas diferentes, ver figura 2. Basados en el sinclinal del depósito en Calenturitas así como también a la presencia de fallas estructurales. El siguiente es un resumen de los límites y estructuras de los sectores identificados:

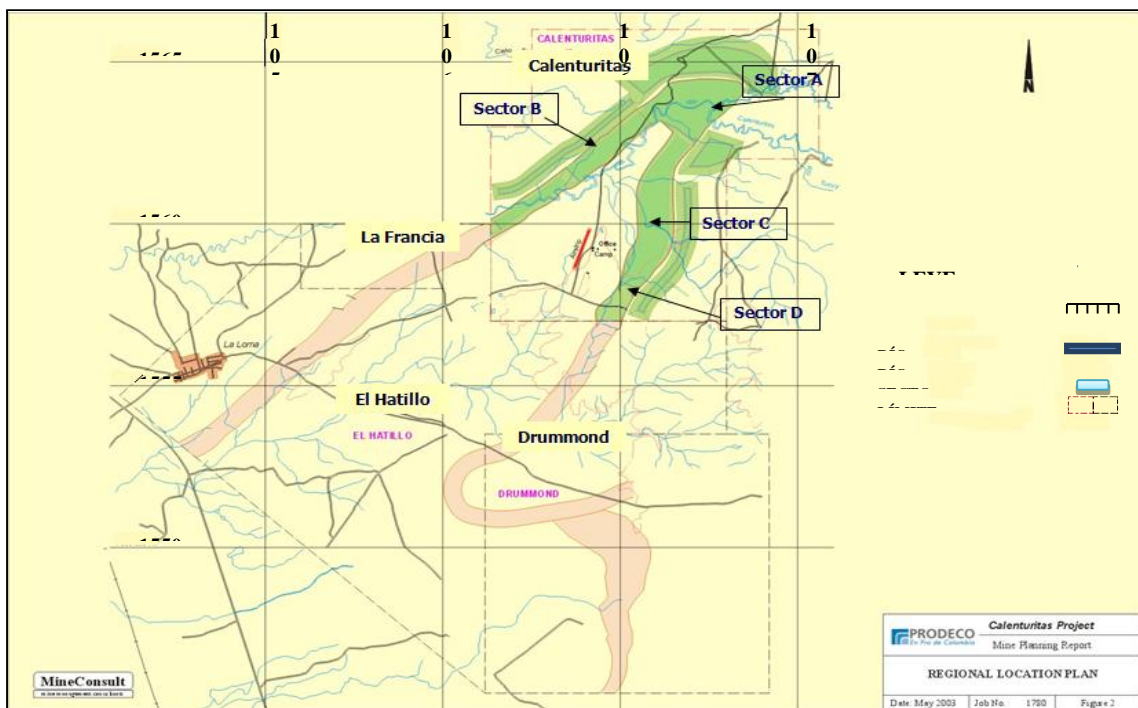
Sector A: Noreste y el cerramiento del sinclinal de La Loma. Buzamientos entre 5 y 10 grados. Encerrado entre las fallas Páramo, Calenturitas y Tucuy.

Sector B: Costado Oeste del sinclinal. Presencia de buzamientos fuertes entre 40 y 50 grados. Entre las fallas Páramo en el Norte y límite de la concesión en el Sur. El carbón sub-flora Noreste-Suroeste.

Sector C: Costado Este del sinclinal. Buzamientos suaves a medios entre 14 y 18 grados. Rodeado por las fallas Tucuy en el Norte y la Envidia al sur del tajo. El carbón sub-flora Norte – Sur.

Sector D: Entre la falla La Envidia al Norte y los límites de la concesión al Sur. Buzamientos fuertes mayores de 40 grados. El carbón sub-flora Noreste-Suroeste. Mantos de carbón con valor económico se encuentran en la formación Los Cuervos (Paleoceno). Se han identificado 32 mantos, identificándose el C420 como el primero en la secuencia estratigráfica y el C160/C159 como el último. El paquete del C400 al C200/C199 es el más favorable económicamente y consecuentemente los tajos de la mina serán sobre estos mantos los cuales tienen un espesor acumulado de 21 m de carbón y de 240 a 250 m incluyéndole el estéril.

Figura 2. Sectores de la Mina Calenturitas



Fuente: Información Servicios Técnicos Mina Calenturitas

1.4 MÉTODO DE EXPLOTACIÓN Y MINERÍA

En la Mina Calenturitas la elección del método de explotación se realizó según las características del depósito, la relación de descapote y los espesores de los mantos, con lo que se ha seleccionado el tipo de minería a cielo abierto y el método de explotación por bancos, el cual consiste en una sucesión de escalones que permite mantener los diferentes frentes de avances, el cual se realiza en sentido del rumbo de los mantos, con buzamientos empinados, mediante sistema de palas y camiones y usando el sistema de botado en botadero externo y en retro llenado.

El área de concesión se encuentra dividida en 4 sectores (A, C&D, B) de los cuales en la actualidad el primero se encuentra en ejecución y proyectando iniciar el Sector B y C&D en el año 2016. En cada una de estas áreas limitadas se encuentra una geología diferente pero con particularidades en su comportamiento debido a que pertenecen a la misma formación y el mismo sinclinal, lo que conlleva a usar el mismo método de explotación. El sector de explotación activo está dividido en 7 niveles los cuales están conformados por paneles que determinan en el sector una serie de paredes intermedias para realizar una mejor secuencia de la extracción.

Los aspectos relevantes para la selección del diseño minero y el método de explotación son:

Tajo abierto. Los mantos se encuentran cerca de la superficie y se pueden minar con una relación económicamente rentable.

Operación con camiones y excavadoras diésel.

Explotación con botadero exterior. Se prefiere para profundidades menores de 100 metros.

Retro llenado preferido para profundidades mayores a 100 metros.

La opción de minado definida comienza en el Norte y después de minar a tajo abierto se mueve en dirección Norte – Sur.

Los diseños mineros y los métodos de explotación evaluados para el depósito son los tajos abiertos con botadero externo y el retro llenado.

En el cuadro 2 y 3 se muestra las características, ventajas y desventajas de los métodos de explotación respectivamente.

Cuadro 2. Características de los métodos de explotación

Característica	Tajo Abierto con Botadero	Tajo Abierto con Retro llenado
Punto de Comienzo de Minería	Sub-afloramiento	Final del depósito
Alineamiento Minero	A lo largo del rumbo hasta el final del depósito	Por el buzamiento desde el sub-afloramiento hasta el límite económico del tajo
Dirección de avance de Minería	Sobre el buzamiento	A lo largo del rumbo
Volúmenes Anuales de Estéril	Comienza bajo y gradualmente se incrementa en la vida de la mina	Tiende a ser constante a lo largo de la vida de la mina
Relación de Descapote		
Elevación de Botaderos		
Flota de Camiones		
Rehabilitación	Normalmente se retrasa, dado que la altura final no se alcanza hasta cuando el proyecto está avanzado	Progresiva, dado que la altura final del botadero es alcanzada mucho más rápido que en la minería de tajo abierto
Forma final del Tajo	Grandes tajos permanecen con pilas de estéril sobre la topografía original	Pequeños tajos permanecen con botaderos que se confunden con la topografía original

Fuente: Información Servicios Técnicos Mina Calenturitas

Cuadro 3. Ventajas y desventajas de cada método de explotación

Minería a Tajo Abierto con Botadero Externo	
Ventajas Menos costos de minería por bajas profundidades. Rápido acceso al carbón y rápido incremento hasta llegar a la meta de producción esperada.	Desventajas Costos de Minería se incrementan con la profundidad. Grandes áreas de topografía original resultan alteradas. Normalmente el estado final de la topografía no es aceptable.
Minería de Tajo Abierto con Retro llenado	
Menores Costos de Minería por profundidad. Maximiza el retro llenado y minimiza la alteración de la topografía. Rehabilitación Progresiva	Alto costo inicial de implementación en los primeros años de la mina. Cambios constantes en las rampas. Decisión de ubicación de pared alta del tajo. (Límite económico del tajo).

Fuente: Información Servicios Técnicos Mina Calenturitas

1.4.1 Geometría del Tajo. El depósito fue subdividido en cuatro sectores de explotación (ver figura 2), un resumen de los sectores es:

Sector C. Tajo existente y extensión hacia el Norte.

Sector B. cubre el flanco noroeste, que puede ser minado en su totalidad sujeto a la segunda etapa de desviación del Río Calenturitas.

Sector D. cubre la parte llana del flanco Este del depósito. No se requiere desviar el río para minar este tajo.

Sector A. conecta los tajos abiertos en el Norte y estaba localizados debajo del río, cubre el remanente del carbón en la parte Norte y flanco este. Este tajo es minado usando botadero externo y retrollenado. es necesario la desviación del río para poder acceder a los mismos.

A través del análisis de la geometría del tajo, configuraciones de vías de acarreo, se consideró un ángulo de diseño de pared de 33.5 grados. Los bloques inclinados fueron diseñados para simular el avance progresivo de la mina. En el Cuadro 4, muestra los criterios de diseño usados para el plan minero detallado.

Cuadro 4. Parámetros para el diseño minero

Parámetro	Valor o Factor Asumido	Unidad
Factor de Expansión	25	%
Angulo de Avance Minero	33.5	Grados
Angulo de Avance in tajo	18	Grados
Largo del Panel	300	M
Angulo de Pared Alta	33.5	Grados
Angulo de Retro llenado	18	Grados
Máxima altura de botadero	160	M

Fuente: Información Servicios Técnicos Mina Calenturitas

1.4.2 Operación Minera. La operación minera se desarrolla con altos estándares de seguridad y de calidad. La compañía tiene como fortaleza la integración de los procesos productivos, lo que aseguran mayores niveles de eficiencia los cuales están liderados por un recurso humano idóneo con una amplia experiencia para mantener los niveles productivos de la operación.

1.4.2.1 Descripción de las Operaciones Unitarias

▪ **Perforación.** El objetivo del proceso de perforación en palabras simples es, construir un espacio físico definido dentro de la roca que será removida (barrenos), para luego en estos pozos colocar el explosivo que más tarde será detonado, ver figura 3. Para materializar esta actividad es necesario efectuar la siguiente secuencia:

Programación de la ubicación de los pozos a perforar
Selección de los aceros a utilizar
Preparación de la zona de trabajo (topografía y limpieza)
Posicionamiento de equipos (en cada barreno)
Perforación (de cada barreno)
Muestreo de detritus
Verificación de la calidad y cantidad de barrenos perforados
Retiro del equipo del sector

Figura 3. Actividades de perforación



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Voladura.** El objetivo del proceso es fracturar y remover el material requerido por el programa de producción, a una granulometría adecuada para su posterior manejo (cargue, transporte, acopio, trituración o botaderos), lo cual se puede resumir en la siguiente secuencia:

Preparación de la zona de trabajo (incluye el aislamiento del sector)
Posicionamiento de equipos de cargue de explosivos
Introducción del explosivo y los accesorios necesarios
Control de calidad del explosivo (en ciertos casos)
Tacado del pozo
Amarre según secuencia especificada
Revisiones de seguridad en el sector (y otros sectores involucrados)
Primer aviso
Avisos posteriores y últimos
Voladura, ver figura 4.
Ventilación o limpieza del sector (hasta que la zona quede limpia)
Revisión de seguridad (Barrenos sin explotar, bloques colgados)

Quema de barrenos sin explotar, descolgado de bloques, reducción secundaria. Esta secuencia se cumple hasta que el material quede en condiciones aptas para ser manipulado por el proceso siguiente.

Figura 4. Actividades de Voladura



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Remoción de Estéril.** Una vez que el material ha sido volado y que se ha revisado el área verificando que la operación será segura (Barrenos sin explotar, bloques colgados, derrumbes, etc.), se procede a preparar la zona para el cargue, para lo cual se requerirá (si es necesario) de equipos de apoyo como buldóceres, cargadores de servicio, camiones de riego, que dejen expedito el sector para la operación de los equipos de cargue y transporte. Cumplido con esto se posiciona el equipo de cargue con su correspondiente flota de equipos de transporte para iniciar la operación, ver figura 5.

Figura 5. Remoción de estériles



Fuente: Resultado de la investigación

▪ **Extracción del mineral.** Es la explotación del mineral de interés propiamente dicho, la operación de extracción no difiere de la de remoción de estériles, en su ejecución se debe tener más cuidado debido a que se está manejando el material que es objeto de la explotación, ver figura 6.

Figura 6. Extracción de material



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Cargue.** Fundamentalmente lo que se hace es extraer por medios mecánicos el material quebrado (volado) desde el frente de operación por el equipo de cargue, para luego ser depositado en el equipo de transporte, lo cual se logra posicionando el equipo (cargador frontal o pala) frente al material a cargar, en un área donde tanto el equipo de cargue como los equipos de transportes puedan operar sin problemas, ver figura 7. El equipo de cargue penetra el material volado con su balde, llenándolo y desplazándolo hacia el punto de descarga, donde el balde es vaciado sobre la tolva del equipo de transporte (o recipiente). Esto se repite hasta que el equipo de transporte alcance su llenado operacional y sea reemplazado por otro equipo de transporte para continuar cíclicamente hasta agotar el material del frente de trabajo.

Los equipos de transporte trasladarán el material a su destino parcial o final, ya sea a botaderos (estéril), plantas o acopios, donde procederán a descargar el material y retornar a la operación (cargue, reserva o mantenimiento).

Figura 7. Cargue de estéril



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Transporte.** Es el traslado del material o mineral arrancado desde el frente de extracción hasta el sitio de acopio o planta de beneficio, así como del estéril hasta las escombreras o botaderos, ver figura 8.

Puede ser continuo o discontinuo. Existen algunos sistemas en los que se sustituye el transporte por disposición continua del material estéril detrás del banco de explotación.

Figura 8. Transporte de estéril



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Patios de Acopio.** Estas áreas deben estar diseñadas de acuerdo con el volumen de extracción, el tiempo de almacenamiento y la calidad del material.

Almacenamiento en Pila: Descargue del material en volquetas. Arrume del material con tractor de llantas u orugas. Cargue del material con cargador.
Ver figura 9.

Figura 9. Patio de acopio



Fuente: Resultado de la investigación.

▪ **Disposición de Escombros.** Es la disposición técnica, final o temporal de los materiales que no presentan ningún valor económico y que acompañan a la sustancia a explotar. El material se deposita en las escombreras en condiciones adecuadas de estabilidad, seguridad e integración al entorno, ver figura 10.

Para la implementación de las escombreras se deben adelantar estudios técnicos previos que determinan su ubicación.

La ubicación de las zonas de escombreras y sus límites se diseñan con base en la capacidad portante del suelo, los volúmenes de material, las características y la distancia a los frentes de extracción.

Morfología y materiales. De acuerdo con el tamaño de los materiales fragmentados y al tipo de material, se definirán las escombreras a manejar.

Estudio geotécnico. Se establecerá la estabilidad de los sitios de escombrera, sus pendientes, el diseño técnico de los bancos o terrazas, así como el estudio hidrogeológico, de escorrentía, drenajes y nivel freático y de estabilidad de los taludes finales (ángulo de reposo).

Para su construcción se emplean: Buldócer, Compactadores, etc.

Figura 10. Disposición de material estéril en botadero.



Fuente: Resultado de la investigación.

- **Cierre y Abandono.** El cierre de los Frentes Mineros se realizará con la finalización de la explotación de las reservas aprovechables, para el caso de la mina Calenturitas se prevé en el 2032 año en el cual se estima que se terminará la explotación de las reservas.

1.5 EQUIPOS

El conocimiento de los equipos y sus características es una importante información para la toma de decisiones en cuanto a su administración, a la combinación de los equipos de arranque, cargue y acarreo, las principales funciones para las cuales fueron diseñados cada uno de ellos, además calcular sus respectivos rendimientos.

La correcta selección, combinación y administración de la maquinaria es uno de los principales factores que determinan la rentabilidad económica de las explotaciones mineras; contando con las disponibilidades mecánicas y operativas proyectadas y con los indicadores de rendimiento previstos, es vital para alcanzar los ritmos de explotación y cumplir con las metas de producción planeadas por la compañía.

La empresa cuenta con una variedad de flotas de las casas Caterpillar e Hitachi que junto con las palas existentes hacen juegos que son productivos con el fin de optimizar el transporte y reducir los costos operacionales. Este depósito se ajusta más fácil a la configuración pala – camión. Las unidades de excavación consideradas son principalmente excavadores hidráulicas con cargado retro y frontal para movilidad. El siguiente es el tamaño de la flota considerada:

Excavadora tipo frontal de 34m³ en estéril.

Excavadoras tipo retro de 22m³, 17m³ y 6m³ de capacidad en estéril.

Excavadora tipo retro de 6m³ y cargadores frontales de 23m³ de capacidad en carbón.

Las excavadoras de 34m³, 22m³ y 17m³ son usadas en conjunto con una flota de camiones de 230ton, 180ton y 98ton de capacidad y descarga trasera. Las excavadoras de 6m³ y los cargadores frontales son usados con camiones de 98ton de capacidad y descarga trasera (tanto en estéril como carbón). Los camiones usados en carbón, se asume que están dotados de aditamentos tales que les permitan cargar su capacidad nominal. Para la realización de las labores de preparación, arranque, cargue y acarreo, ver cuadro 5.

Cuadro 5. Equipos de Minería.

EQUIPO DE CARGUE	CANTIDAD	MARCA	REFERENCIA
PALA FRONTAL (H*)	1	CATERPILLAR	CAT 6060
PALA FRONTAL(H*)	1	TEREX	O&K-RH 340
PALA FRONTAL(H*)	2	HITACHI	EX3600FS
PALA RETROEXCAVADORA	7	HITACH	EX3600
PALA RETROEXCAVADORA	2	HITACHI	EX2500
PALA RETROEXCAVADORA	3	HITACHI	EX1900
PALA RETROEXCAVADORA	4	TEREX O&K	O&K RH-120
CARGADOR	3	CATERPILLAR	993K
CARGADOR	4	CATERPILLAR	988H
CAMION 777F	120	CATERPILLAR	DT
CAMION 789C	28	CATERPILLAR	DT
CAMION 793C Y 793D		CATERPILLAR	DT
CAMION EH 3500		HITACHI	
CAMION EH 4000		HITACHI	
Tractor de Orugas	9	CATERPILLAR	D10T
Tractor de Orugas	2	CATERPILLAR	D11T
Tractor de Orugas	7	CATERPILLAR	D9T
Tractor de Orugas	17	CATERPILLAR	D7R
Tractor de Orugas	1	CATERPILLAR	D7R II
Tractor de Llantas	5	CATERPILLAR	834H
Tractor de Llantas	1	CATERPILLAR	854K
Moto Niveladoras	3	CATERPILLAR	16M
Moto Niveladoras	3	CATERPILLAR	16H
Moto Niveladoras	1	CATERPILLAR	16G
Moto Niveladoras	4	CATERPILLAR	24M
Tanqueros	11	CATERPILLAR	777F-WT
Cargadores	5	CATERPILLAR	988H

Fuente: Servicios Técnicos

De acuerdo con la anterior información podemos clasificar en 2 grupos la maquinaria con la cual se dispone para la realización de las labores propias de la mina calenturitas.

Equipos mineros.- Equipos auxiliares

A continuación se hace la descripción general de las características de los equipos mineros existentes.

1.5.1 Excavadoras hidráulicas. Han sido diseñadas para el arranque y cargue de materiales (suelo, roca y minerales) y descargarlo sobre algún medio de transporte para su posterior acarreo, estos equipos se encuentran montados sobre orugas para permitir mayor seguridad, propulsión más eficiente en terrenos de comportamiento irregular y mejor operatividad.

El equipo de trabajo es accionado hidráulicamente y sus movimientos operacionales son producidos por la transferencia de energía del motor diésel a bombas hidráulicas.

Existen dos configuraciones básicas de excavadoras hidráulicas, las frontales que son denominadas ampliamente en nuestro medio como Palas Frontales o simplemente palas y las retroexcavadoras o retros. La diferencia de diseño de entre estos equipos se fundamenta en el sentido del movimiento del cucharón y en la geometría de los equipos de trabajo.

- **Pala Hidráulica Frontal CAT 6060**

Figura 11. Pala Hidráulica Frontal CAT 6060



Fuente: resultado de la investigación

Características

Capacidad de cucharón: 34 m³
Energía Motriz: Hidráulica.
Altura máxima: 15.5 m
Productividad esperada: 1700 BCM/H
Sistema de movilidad: Orugas.

▪ **Pala Hidráulica Frontal O&K RH340**

Características.

Capacidad de cucharón: 34 m³
Energía Motriz: Hidráulica.
Altura máxima: 15.5 m
Peso total: 553 toneladas
Poder motor: 2240 KW
Productividad esperada: 1600 BCM/H
Sistema de movilidad: Orugas.

Figura 12. Pala Hidráulica Frontal O&K RH340



Fuente: resultado de la investigación

▪ **Pala Hidráulica Frontal HITACHI EX3600FS**

Características.

Capacidad de cucharón: 21 m³
Energía Motriz: Hidráulica.
Altura máxima: 16.5 m
Máxima apertura del cucharón: 1.9 m
Poder motor: 1450 KW
Productividad esperada: 1200 BCM/H
Sistema de movilidad: Orugas.

Figura 13. Pala EX3600FS



Fuente: resultado de la investigación

▪ **Pala Retroexcavadora HITACHI EX3600**

Características.

Capacidad de cucharón: 21 m³

Energía Motriz: Hidráulica.

Altura máxima: 17.69 m

Poder motor: 1450 KW

Productividad esperada: 1100 BCM/H

Sistema de movilidad: Orugas.

Figura 14. Pala Retroexcavadora EX3600BH



Fuente: resultado de la investigación

- **Pala Retroexcavadora HITACHI EX2500**

Características.

Capacidad de cucharón: 15 m³

Energía Motriz: Hidráulica.

Altura máxima: 10.35 m

Poder motor: 1007 KW

Productividad esperada: 700 BCM/H

Sistema de movilidad: Orugas.

Figura 15. Pala EX2500 BH



Fuente: resultado de la investigación

- **Pala Retroexcavadora HITACHI EX1900**

Características.

Capacidad de cucharón: 11 m³

Energía Motriz: Hidráulica.

Altura máxima: 15.01 m

Poder motor: 775 KW

Productividad esperada: 580 BCM/H

Sistema de movilidad: Orugas.

Figura 16. Pala Ex1900BH



Fuente: resultado de la investigación

1.5.2 Equipos de Acarreo

- **CAMION CAT 777F**

Figura 17. Camión 777F



Fuente: resultado de la investigación

La empresa cuenta con un total de 120 camiones de estos camiones entre los dos sectores, de los cuales solo se encuentran en funcionamiento el 50% por el cierre del sector C&D de la mina, los cuales presentan las siguientes especificaciones:

El motor C32 Cat® con tecnología ACERT™ usa tecnología avanzada del motor para reducir las emisiones sin necesidad de pos tratamiento. El motor de 12 cilindros con turbo compresión y pos enfriamiento tiene mayor potencia y una respuesta más rápida, lo que proporciona rendimiento superior en las aplicaciones más exigentes, lo cual genera una potencia bruta del motor de 758 KW (1016 Hp). Posee un sistema de frenos con control del retardador Automático (ARC), un motor de desconexión del freno (remolque) y retardador manual, discos múltiples enfriados por aceite (delanteros/traseros), también contiene una Servo-transmisión automática de 7 velocidades con Control electrónico de Presión de los Embragues (ECPC), Inhibidor de cambios con caja arriba, Cambios controlados del acelerador, administración de cambios de sentido de marcha, inhibidor de cambios descendentes, interruptor de arranque en neutral, inhibidor de movimiento a rueda libre en neutral, inhibidor de cambios de retroceso, neutralizador de retroceso durante la descarga, entre otros, además posee una carga útil de 90,3 ton, con una posible velocidad cargado de 64,5 km/h.

- **CAMION CAT 789C**

Figura 18. Camión Flota 789C



Fuente: resultado de la investigación

La empresa cuenta con 28 unidades de este tipo de camiones CAT de los cuales 11 son con tipo de tolva estándar body proporcionando una capacidad de llenado de 177 ton, mientras que los otros 17 son tipo MSDII generando capacidad de llenado de 189 ton, en su totalidad estos se encuentran únicamente en el sector A de la Mina, los cuales presentan las siguientes características:

Posee un motor Cat 3516B EUI con cuádruple turbocompresor y pos-enfriador suministra alta potencia y fiabilidad en las aplicaciones de minería más exigentes. Del mundo, este modelo tiene un diseño de 16 cilindros y cuatro carreras que utiliza carreras de potencia prolongadas y eficaces para lograr una combustión del combustible más completa y una eficiencia del combustible óptima.. El tren de fuerza transmite mayor cantidad de potencia al suelo, y de esta manera se logra una mayor productividad y costos de operación más bajos, tiene un sistema de suspensión diseñado para disipar los impactos de los caminos de acarreo y de las cargas a fin de proporcionar una vida útil del bastidor más prolongada y una conducción más cómoda. Los tipos de tolvas son la estándar la cual es con piso de doble que proporciona una excelente retención de carga, mantiene un centro de gravedad bajo con una distribución de la carga óptima, reduce las cargas de impacto y la MSD II que es un tipo de tolva diseñada exclusivamente para cargas mineras se encuentra está diseñada para maximizar la carga útil, proporcionar buena durabilidad además de los diferentes revestimientos en acero que se colocan en este tipo de tolvas.

- **CAMION 793C Y 793 D**

Figura 19. Camiones 793D y 793C



Fuente: resultado de la investigación

Posee un motor Cat 3516B EUI de gran cilindrada con post-enfriador y turboalimentador cuádruple produce un 5% más de potencia y permite un mejor control para un máximo rendimiento de tracción, este tiene un diseño de 16 cilindros y cuatro tiempos que emplea ciclos de explosión largos y eficaces para lograr la total combustión del combustible y una máxima eficiencia en el consumo. Tiene un sistema de frenos de servicio de discos múltiples, para cuatro ruedas, refrigerados por aceite a presión de Caterpillar se enfrían continuamente mediante intercambiadores de calor de agua a aceite, con lo que se obtienen un rendimiento del retardo excepcional y un frenado resistente a la fatiga, las tolvas se encuentran entre estándares y las MSD con pocas variaciones entre la capacidad de carga 218 la estándar y 229 la MSD, alcanzando un potencia en el motor de 2337 hp.

- **CAMION EH3500**

Este camión se adquirió con el objetivo de aumentar las productividades de así palas de su misma marca, este puede maniobrar fácilmente en espacios reducidos y se mueven rápidamente por el camino recorrido con velocidad constante, posee un motor que genera 1.491 kW (2.000 CV) a 1.900 rpm, El camión posee un refuerzo horizontal que minimiza las concentraciones de esfuerzos para disipar los choques de la carga en toda la longitud del cuerpo entero. Además, rigidizadores estrechamente espaciados para proporcionar protección adicional para minimizar las distancias entre las zonas no soportadas, posee una capacidad de carga de 168 tones.

- **CAMION EH4000**

Figura 20. Camiones Hitachi EH4000



Fuente: resultado de la investigación

Estos camiones disfrutan un motor QSK60C que les proporciona una fuera de 1500 hp con una carga útil de 230 a 240 ton, además posee un refuerzo horizontal minimiza las concentraciones de esfuerzos por disipar los choques de carga en toda la longitud del cuerpo entero. Además, rigidizadores estrechamente espaciados proporcionar protección adicional por minimizar las distancias entre las zonas no soportadas.

1.5.3 Equipos Auxiliares

- **CARGADOR 988H.** Son equipos de gran movilidad y maniobrabilidad, poseen motor diésel en la parte trasera lo cual le permite mayor estabilidad y tracción,

brazos soportes del cucharón en ambos lados del equipo, tracción en las cuatro ruedas y accionamiento hidráulico del cucharón.

Los cargadores son utilizados para realizar principalmente las siguientes funciones:

Como equipo para el cargue, de camiones, tolvas. etc.

Carga y acarreo en distancias cortas, eliminando la utilización de camiones.

Como equipo de apoyo, en la limpieza de frentes para perforaciones, preparación de rampas, construcción, mantenimiento y limpieza de vías, etc.

Figura 21. Cargador 998H



Fuente: resultado de la investigación

Características

Carga útil nominal 11,4 ton métricas / 12,5 ton EE.UU.

Modelo del motor Cat® C18 ACERT™

Potencia bruta 414 kW / 555 hp

Peso en orden de trabajo 50.144 kg/110.549 lb

Capacidades del cucharón 6,4 - 7,7 m³ / 8,3 - 10 yd³.

- **TRACTORES.** Tractores o buldócer que era el nombre con el cual se conocían las hojas de empuje que fueron adaptadas al tractor y que traduce literalmente niveladora de toro con accionamiento manual y gran incomodidad para su maniobrabilidad.

Existen dos tipos de unidades, los de rueda y los de oruga, siéndolos últimos los más conocidos y utilizados en operaciones de arranque y empuje, ambos presentan varias diferencias de diseño además del tren de rodaje, los de oruga presentan chasis rígido frente al articulado de los de rueda (frecuentemente los de rueda son una adaptación de los cargadores), la diferencia operativa principal es la fuerza que puede ejercer para la excavación y empuje, la disponibilidad para maniobra en firmes y mala condiciones y la velocidad para desplazamientos.

El factor crítico a la hora de seleccionar el tipo, unidad que se requiere es la tracción, lo cual conlleva a una diferencia en el costo de adquisición, ya que los de oruga implican mayor inversión. Mientras los de rueda necesitan mayor peso y potencia, para lograr la misma capacidad de empuje, que uno de oruga. Por ese motivo los de rueda son utilizados principalmente como equipos auxiliares.

Figura 22. Tractor de oruga CAT D9



Fuente: resultado de la investigación

Figura 23. Tanquero 777F.



Fuente: resultado de la investigación.

Figura 24. Motoniveladora 16M



Fuente: resultado de la investigación

2. BASE TEÓRICA

Los sistemas de bombeo, constituyen la forma más eficiente de evacuar el agua de filtración y las aguas de escorrentía superficial proveniente de la precipitación directa sobre los tajos, estas se recolectan en un sumidero de donde se evacúan mediante un sistema de bombeo, conduciendo el agua mediante tubería HDPE de 12" y canales a los sitios de almacenamiento.

Las condiciones físicas para la aplicación y elección de una bomba se fundamentan en la teoría basada en los puntos de referencia:

Elevación: Diferencia de elevación vertical medida en metros (o pies) (resistencia gravitacional), la elevación determina la fuerza de la bomba.

Flujo: es la cantidad de fluido que se desplaza por un recipiente que alcanza cierto movimiento medida en metros cúbicos por hora (galones por min), es decir, volumen sobre tiempo. El flujo determina el tamaño de la tubería.

Flujo laminar: En el flujo laminar, las partículas del fluido solo se mezclan a escala molecular de modo que durante el movimiento dichas partículas se desplazan según trayectorias paralelas bajo la acción de la viscosidad. En la práctica, el flujo laminar se produce cuando el número de Reynolds no excede los valores de 1.500 a 2.000.

Flujo turbulento: En el flujo turbulento las partículas del fluido se mezclan a escala molar, de modo que durante el movimiento se produce un intercambio de cantidad de movimiento entre partículas adyacentes ocasionando una rápida y continua agitación y mezcla en el seno del fluido. En la práctica el flujo turbulento se produce para números de Reynolds por encima de valores entre 6.000 a 10.000.

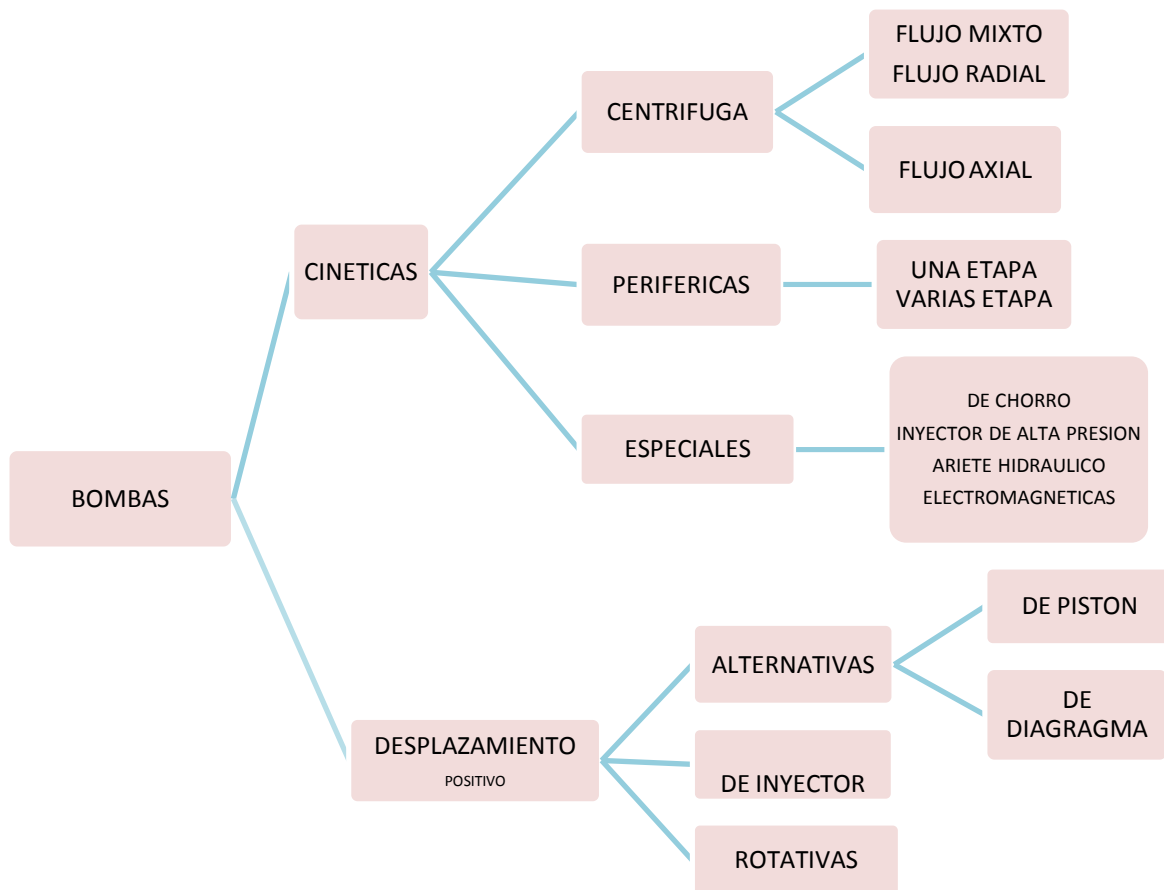
Distancia: la distancia es el trayecto espacial medido en metros o pies (Longitud de la manguera / tubería a la descarga). Determina si el tamaño de la tubería debe ser incrementado para reducir las pérdidas por fricción.

Caudal: Es el volumen de líquido desplazado por la bomba en una unidad de tiempo; se expresa generalmente en litros por segundo (L/s), metros cúbicos por hora (m^3/h), galones por minutos (Gpm).

Bombas: La bomba es una máquina que absorbe energía mecánica que puede provenir de un motor eléctrico, térmico, etc., y la transforma en energía que la transfiere a un fluido como energía hidráulica que permite que el fluido pueda ser transportado de un lugar a otro a un mismo nivel y/o a diferentes niveles y velocidades. Las bombas son los elementos que aportan energía para vencer las pérdidas de carga.

Sistema de bombeo: consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

Figura 25. Clasificación de bombas:



Fuente: Guerrero, Francisco. Bombas Centrifugas.

Sumidero: Conducto o canal por donde se sumen las aguas para poder ser evacuadas o dirigidas

Tubería: Conducto formado por tubos que sirve para distribuir líquidos o gases.

Curvas características: Una forma de visualizar fácilmente el funcionamiento de un sistema de tuberías es utilizando las curvas características. La idea consiste en resolver de forma gráfica las ecuaciones que definen un determinado problema.

2.1. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE LA CARGA DE BOMBEO

El cálculo de la carga Dinámica total para un sistema de bombeo consiste en determinar la energía requerida para impulsar el líquido desde el nivel de succión hasta el nivel de descarga, venciendo la resistencia que ofrecen la tubería y los accesorios, al paso del fluido.

Carga Dinámica Total (CDT)³. La carga dinámica total de bombeo se define como la suma total de resistencias del sistema, correspondientes a la carga estática total, a la pérdida de carga por fricción en la tubería de succión y descarga y a la carga de velocidad.

$$CDT = H_e + \sum H_f \quad (1)$$

Donde:

CDT: Carga dinámica total.

H_e: Altura estática total (m)

H_f: Pérdidas en las tuberías y accesorios (m).

Para determinar la carga dinámica total del sistema, se hace uso de la ecuación de Bernoulli, y que aplicada a un sistema de bombeo, ver figura 26. Se tiene la siguiente expresión:

$$\frac{P_1}{\sigma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_s + CDT - H_{F1-2} = \frac{P_2}{\sigma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_d \quad (2)$$

Donde:

P₁ y P₂: Presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2 respectivamente.

V₁ y V₂: Presión sobre la superficie del líquido en los puntos 1 y 2 respectivamente.

h_s y h_d: Alturas de succión y descarga respectivamente.

CDT: Carga dinámica total que la bomba tiene que desarrollar para conducir el fluido del depósito 1 al depósito 2 a la capacidad determinada.

H_{F1-2}: Pérdidas totales de carga que el líquido experimenta en la tubería de succión y descarga.

³ Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Mexico. 2007, p 11.

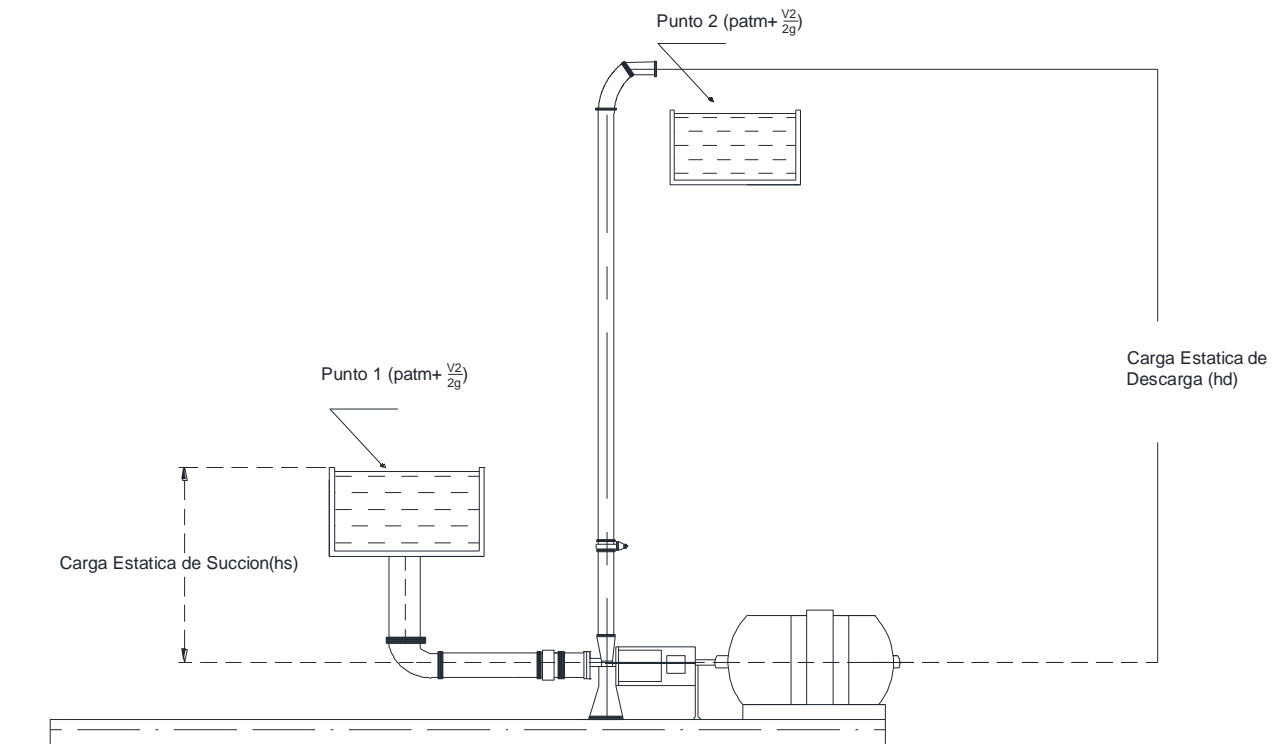
σ :Densidad del fluido a la temperatura de bombeo.

g : Aceleración debido a la gravedad

De la ecuación anterior tenemos que la carga dinámica total será:

$$CDT=(P2 - P1)/\sigma + (h_d-h_s)+H_{F1-2}+ (V2^2-V1^2)/2g \quad (3)$$

Figura 26.Parámetros para determinar la carga dinámica total del sistema de bombeo



Fuente: Comisión Nacional del Agua.Manual de Agua Potable,Alcantarillado y Saneamiento. Mexico.2007.

En sistemas atmosféricos $P1= P2$ y para fines prácticos se considera la velocidad de succión despreciable, por lo que tenemos:

$$CDT= (h_d-h_s)+H_{F1-2}+ \frac{V2^2}{2g} \quad (4)$$

Para sistemas con altura de succión:

$$CDT=(h_d+h_s)+H_{F1-2}+ \frac{V2^2}{2g} \quad (5)$$

2.1.1 Pérdidas de Carga en tuberías.⁴ Las pérdidas de carga en tuberías están compuestas por las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias.

Pérdidas primarias. Estas son ocasionadas por el rozamiento que el fluido experimenta con la pared de la tubería por la que circula y al roce de las partículas entre sí.

En la determinación de este tipo de pérdidas juegan un papel importante los factores siguientes:

- a) El tipo de material y el acabado interno de la tubería, ya sea liso o rugoso.
- b) El régimen en que se maneja el flujo del fluido si es laminar o turbulento.

Un parámetro muy importante en la determinación del tipo de régimen del flujo del fluido es el número de Reynolds, el cual involucra la velocidad, la viscosidad del fluido y el diámetro interno de la tubería. El número de Reynolds, se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$R = \frac{Vd}{\nu} \quad (6)$$

Donde:

V: Velocidad promedio del fluido en la tubería (m/s)

d: Diámetro interno de la tubería (m).

ν : Viscosidad cinemática en (m²/s).

Tipos de régimen de flujo:

1. El régimen laminar se presenta con números de Reynolds inferiores a 2000.
2. Una zona llamada crítica, comprendida entre los números de Reynolds de 2000 < R < 4000.
3. Un área designada de transición cuyos límites están comprendidos entre 4000 < R < 11000.
4. El régimen de flujo turbulento se presenta con números de Reynolds superiores a 11000.

Para estimar las pérdidas primarias es necesario contar con los datos de rugosidad absoluta y el diámetro interno de la tubería. Con estos datos se calcula el valor de la rugosidad relativa por medio de la siguiente expresión:

⁴ MATAIX, CLAUDIO. Mecánica de fluidos y maquinaria hidráulicas. Madrid, 1982, p194.

$$\text{Rugosidad relativa} = \varepsilon/d$$

(7)

Donde:

ε : Rugosidad absoluta (mm).

D: Diámetro interno (mm).

Cuadro 6. Viscosidad cinemática

T(°C)	U(m ² /s)*10 ⁻⁰⁶	T(°C)	U(m ² /s)*10 ⁻⁰⁶
0	1.771	20	1.004
2	1.657	22	0.958
4	1.555	24	0.914
6	1.463	26	0.874
8	1.379	28	0.836
10	1.303	30	0.801
12	1.233	32	0.768
14	1.168	34	0.737
15	1.138	36	0.708
16	1.109	38	0.681
18	1.055	40	0.655

Fuente: Tomado de mecánica de fluidos Mott Robert

Cuadro 7. Rugosidad absoluta (ε) en tubos comerciales.

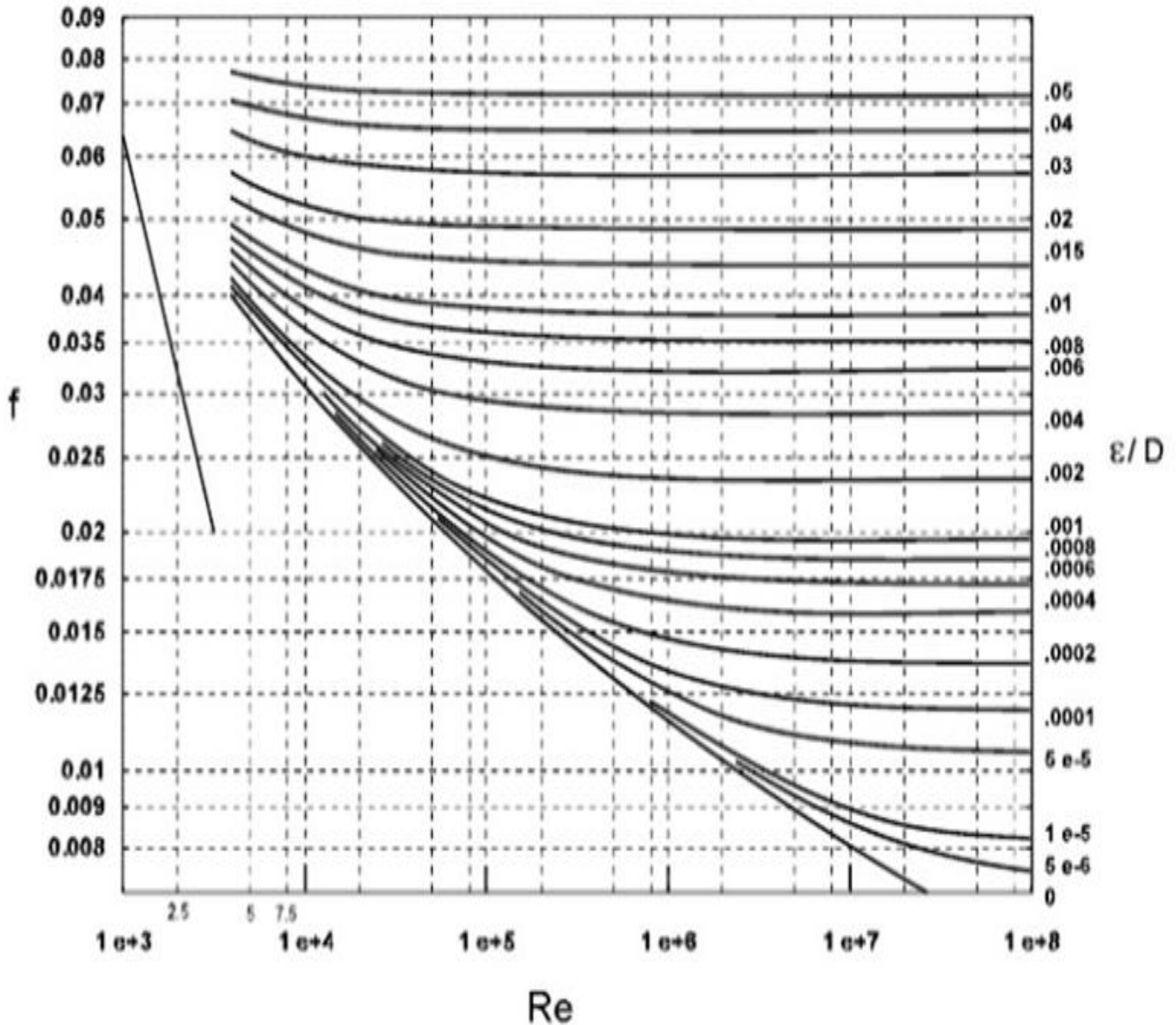
Material de conducto	Rugosidad absoluta ε (mm)
Vidrio	Liso
Plástico (PVC)	0.005
Tubo extruido: cobre, latón y acero	0.001
Acero comercial o soldado	0.046
Hierro Galvanizado	0.150
Hierro dúctil, recubierto	0.120
Hierro dúctil, no cubierto	0.240
Concreto, bien fabricado	0.120
Acero remachado	1.800
Asbesto cemento nuevo	0.025

Fuente: Tomado de mecánica de fluidos Mott Robert, pág. 235

Con los valores del número de Reynolds y la rugosidad relativa, se determina el coeficiente de rozamiento en el diagrama de Moody, ver figura 27. Este coeficiente es útil para determinar las pérdidas primarias por medio de la ecuación de Darcy Weisbach:

$$H_f = f \cdot (l/d \cdot v^2/2g) \quad (8)$$

Figura 27. Diagrama de Moody



Fuente: Comisión Nacional del Agua. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Mexico. 2007.

Pérdidas secundarias. Las pérdidas de carga secundarias o de forma son ocasionadas por la resistencia que presentan al paso del fluido los accesorios del arreglo de tuberías (reducciones, válvulas, estrangulaciones, expansiones, cambios de dirección, etc.)

El cálculo de las pérdidas locales de los accesorios se obtiene como una pérdida de la velocidad del fluido por medio de la siguiente expresión:

$$h_f = K \times V^2 / 2g \quad (9)$$

Donde:

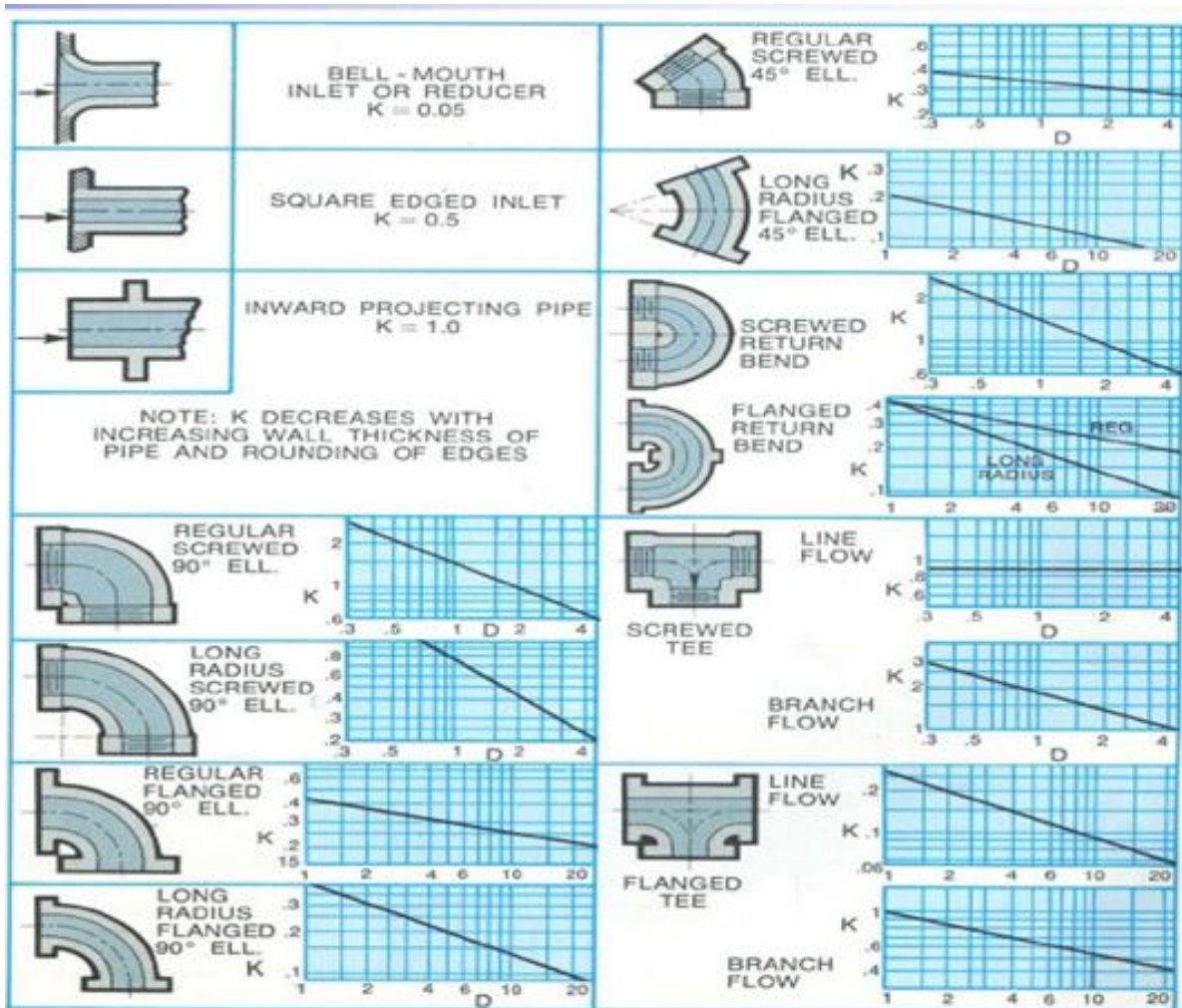
K = Coeficiente de resistencia del accesorio

V = Velocidad promedio en la tubería en m/s

g = Constante de gravedad (9.8 m/s²)

h_f = Pérdida de energía en metros del líquido bombeado

Figura 28. Perdidas en accesorios.



Fuente: Guerrero, Francisco. Bombas Centrifugas.

2.1.2 Cálculo de la potencia hidráulica (WHP) y de la potencia al freno (BHP). La potencia de entrada ó potencia al freno (BHP) es la potencia requerida en la flecha de la bomba. La potencia hidráulica (WHP) es la desarrollada en el líquido por la bomba. Éstos dos términos son determinados por las siguientes fórmulas:

$$\text{BHP} = \frac{Q * \text{CDT} * \text{DENSIDAD RELATIVA}}{3960 * \eta} \quad (10)$$

$$\text{WHP} = \frac{Q * \text{CDT} * \text{DENSIDAD RELATIVA}}{3960} \quad (11)$$

Donde:

Q en m³/s

CDT en metros

σ N/m³ en Kg/m³

Eficiencia de una bomba centrífuga (η). La potencia al freno ó de entrada para una bomba es mayor que la potencia hidráulica ó de salida, debido a las pérdidas mecánicas o hidráulicas que ocurren en la bomba. Por lo tanto la eficiencia es la relación entre estos dos conceptos.

$$\eta = \frac{\text{WHP}}{\text{BHP}} \quad (12)$$

2.1.3 NPSH. Es la cantidad de energía que dispone el líquido al ingreso de la Bomba centrífuga.

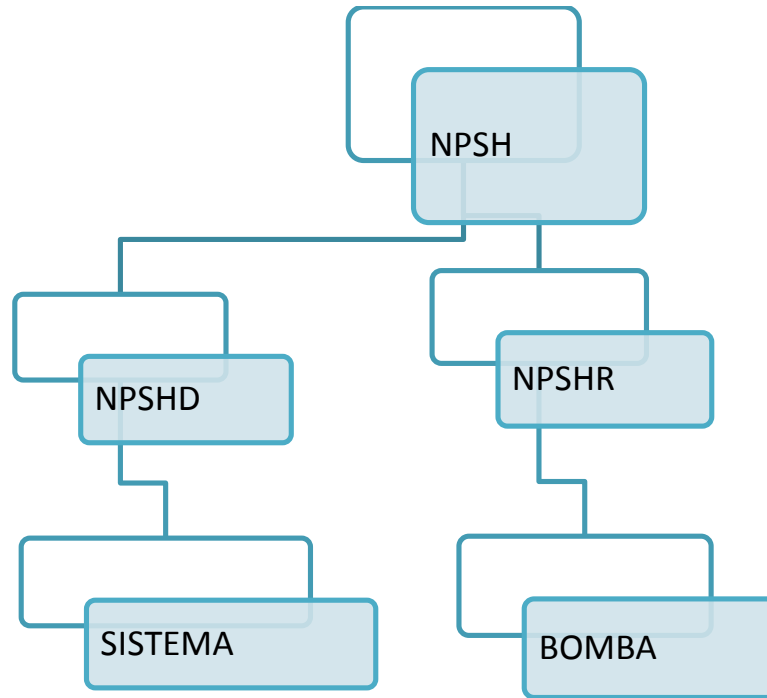
NPSH disponible. Es la cantidad de energía que dispone el líquido sobre la presión de vapor en la brida de succión de la bomba a la temperatura de bombeo. Depende de las características del sistema en el cual opera la bomba, del caudal y de las condiciones del líquido que se bombea tales como: clase de líquido, temperatura, gravedad específica, entre otras.

NPSH requerido. Es el valor mínimo de energía requerido en la brida de succión de la bomba que debe tener el líquido sobre la presión de vapor a la temperatura de bombeo para permitir que opere satisfactoriamente. Depende exclusivamente del diseño de la bomba y de las condiciones de operación (velocidad, caudal, ADT, etc.), siendo su valor proporcionado por el fabricante.

Para que no Cavite una bomba centrífuga:

$$\text{NPSHD} > \text{NPSHR}$$

Figura 29. Altura de aspiración neta positivo



Fuente: Guerrero, Francisco. Bombas Centrifugas.

Cálculo del NPSH disponible

$$\text{NPSHd} = (P_b - P_v) \times 0.7 / \text{GE} \pm S - \sum H_{FS} \quad (13)$$

Donde:

NPSHd: disponible en metros.

P_b: Presión absoluta en el recipiente de succión en psi.

P_v: Presión de vapor absoluta del líquido en psi a la temperatura de bombeo.

GE: Gravedad específica del líquido a la temperatura de bombeo.

S: Altura estática de succión en metros.

$\sum H_{FS}$: Pérdidas de energía por fricción en la línea de succión expresada en metros del líquido bombeado.

3 DRENAJE EN LA MINA

El estudio de los problemas de drenaje de minas tiene dos aspectos importantes. El primero, de mantener condiciones de trabajo adecuadas para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y de la operación conjunta, para lo que es frecuente la necesidad de bombeo de las aguas. El segundo aspecto del drenaje en las minas, es la gestión de las interferencias de la operación en la hidrosfera. Esta gestión tiene normalmente los siguientes objetivos: minimizar la cantidad de agua en circulación en las áreas operativas; reaprovechar al máximo el agua utilizada en el proceso industrial y eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor. Para alcanzar estos objetivos, la gestión incluye la implantación y operación de un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de cada mina.

Un sistema de drenaje tiene por objetivo proporcionar una recogida, transporte y vertido final de aguas de escorrentía superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservados, garantizando el control de la erosión, la minimización de la colmatación y la conservación de la calidad física y química de los cuerpos de agua receptores. Pero además, un sistema de drenaje debe ser capaz de funcionar satisfactoriamente todo el año y, particularmente durante los periodos de lluvias intensas. Los principales componentes de los sistemas de drenaje de los tajos y botaderos comprenden los drenajes perimetrales e internos de los botaderos, drenajes de los tajos de explotación y el drenaje de las cuencas naturales en la zona.

Figura 30. Labores de drenaje (canales perimetrales).



Fuente: resultado de la investigación.

3.1 DESAGÜE DE LOS PIT

Como un criterio general para el manejo de las aguas de escorrentía, se considera que en lo posible, el caudal de las aguas lluvias se deberá recolectar en cunetas a lo largo de las vías y bancos, dirigiéndolas a uno o más sumideros a partir del cual se evacúan mediante un sistema de bombeo, conducidas mediante un sistema de tuberías a los sitios de almacenamiento o canales perimetrales.

Se supone que al tajo solo llega el agua de su propia área aferente. Las aguas de áreas externas se deben controlar orientándolas por medio de cunetas, alcantarillas y canales a los cuerpos de agua superficiales o piscinas de sedimentación

3.2 TIEMPO DE INACTIVIDAD EN EL NIVEL AFECTADO

Tomando registros en el sistema de despacho (Dispatch), lugar donde se controla y se optimiza la operación de equipos, es el tiempo durante el cual no se podrán realizar operaciones de minería en el nivel afectado por la lluvia, el cual es utilizado para calcular la productividad de los equipos. Estos tiempos son organizados mes a mes para correlacionar las variaciones años tras años, ver cuadro 8. Y está determinado por la suma de los siguientes conceptos:

- a. Tiempo de desagüe: capacidad de bombeo instalada, (tiempo que le toma al equipo de bombeo evacuar el agua precipitada en el aguacero).
- b. Tiempo de secado: cantidad de agua precipitada durante el aguacero (duración total del aguacero y cantidad de agua precipitada en mm).
- c. Tiempo de recuperación: cantidad de lodos arrastrados y de los equipos dedicados a la tarea de recuperación (tiempo tomado por la maquinaria encargada de remover los lodos y direccionar las aguas).
- d. Tiempo de movilización de los equipos: distancia entre el nivel afectado y el nivel alterno seleccionado. (tiempo que se le toma a la maquinaria para desplazarse hasta un nivel superior 5 min aproximadamente).

3.3 EVENTOS DE LLUVIA

Desde el punto de vista climático, se consideraron tres variables fundamentales que corresponden a la precipitación, la evaporación y la temperatura. Para la precipitación se seleccionaron las estaciones de Los Llanos, La Loma y La Jagua, que están ubicadas de manera equidistante de la zona de la mina. Para la evaporación se utilizó la estación climatológica Chiriguaná, ver Cuadro 9. Se muestra la variación de la precipitación y evaporación mensual para la zona de la mina. Para determinar las precipitaciones máximas en la zona de la mina,

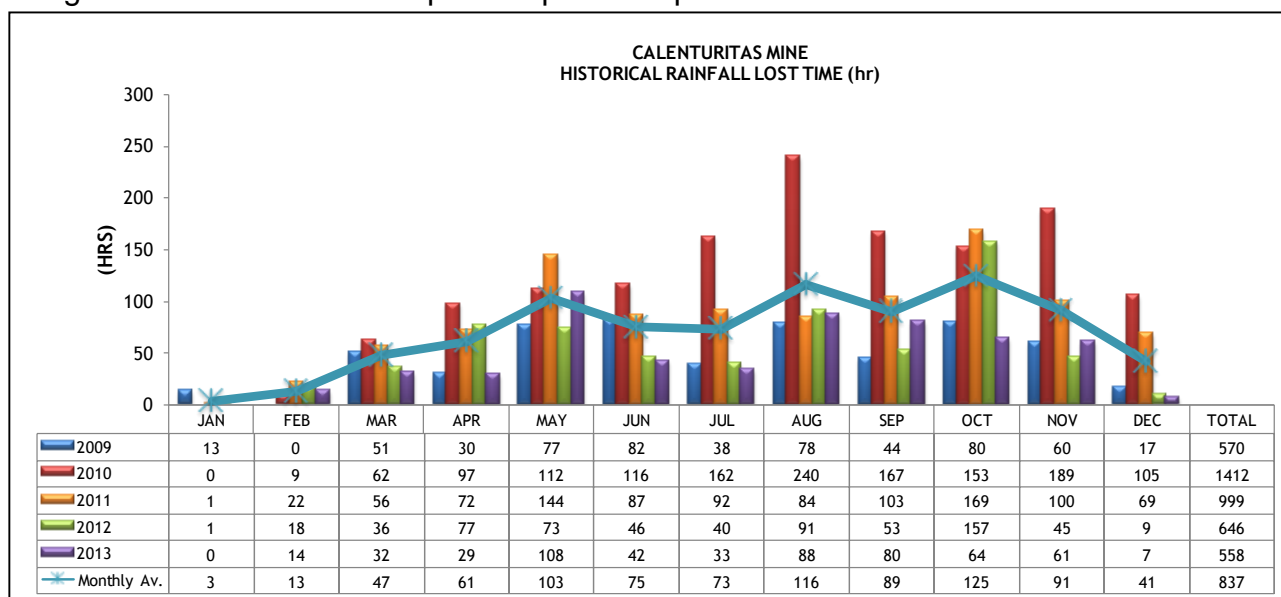
necesarias para el diseño del sistema de drenaje, se determinaron las precipitaciones máximas de 24 horas, ver cuadro 10. La información de precipitaciones en las áreas de la mina se toma de los registros históricos de la superintendencia de ingeniería ambiental, la cual cuenta con una red de estaciones para el monitoreo de las condiciones meteorológicas.

Cuadro 8. Mina Calenturitas histórico de horas pérdidas por lluvia.

MONTH	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS	HOURS
JAN		10	31	0	8	13	0	1	1	0
FEB		9	5	10	10	0	9	22	18	14
MAR		16	28	26	20	51	62	56	36	32
APR		44	97	56	27	30	97	72	77	29
MAY		49	100	100	81	77	112	144	73	108
JUN		79	84	140	35	82	116	87	46	42
JUL	21	37	25	94	51	38	162	92	40	33
AUG	13	32	52	109	76	78	240	84	91	88
SEP	43	57	34	67	54	44	167	103	53	80
OCT	86	91	78	97	61	80	153	169	157	64
NOV	48	120	56	61	88	60	189	100	45	61
DEC	25	0	12	0	2	17	105	69	9	7
TOTAL	236	543	602	758	514	570	1412	999	646	558

Fuente: Superintendencia de ingeniería ambiental.

Figura 31 .Histórico de tiempos de pérdidas por lluvia



Fuente: Superintendencia de ingeniería ambiental.

Cuadro 9. Precipitación y evaporación media en la zona de la mina

Mes	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	11	122
Febrero	25	114
Marzo	68	115
Abril	132	98
Mayo	200	91
Junio	136	86
Julio	103	88
Agosto	171	111
Septiembre	217	94
Octubre	223	93
Noviembre	158	87
Diciembre	29	101
Total Anual	1473	1201

Fuente: Superintendencia de ingeniería ambiental.

Cuadro 10. Precipitaciones máximas puntuales de 24 horas

Periodo de Retorno (años)	Precipitación (mm)
2,33	107
5	132
10	149
25	173
50	190
100	208

Fuente: Superintendencia de ingeniería ambiental.

Cuadro 11. Clasificación de la precipitación según la intensidad (mina Calenturitas)

AÑO 2011		
MES	NUMERO DE DÍAS CON LLUVIAS SUPERIORES A 20mm	PUNTO MÁXIMO DE INTENSIDAD DE LLUVIA/HORA.
Mm/H		
ENERO	0	
FEBRERO	0	
MARZO		
ABRIL		
MAYO	7	47.2
JUNIO	1	16.2
JULIO	2	36.0
AGOSTO	5	45
SEPTIEMBRE	4	47
OCTUBRE	6	72
NOVIEMBRE	4	48
DICIEMBRE	3	36.0
AÑO 2012		
MES	NUMERO DE DÍAS CON LLUVIAS SUPERIORES A 20mm	PUNTO MÁXIMO DE INTENSIDAD DE LLUVIA/HORA.
Mm/H		
ENERO	0	0.2
FEBRERO	0	1.8
MARZO	1	31.2
ABRIL	1	30.8
MAYO	2	60.4
JUNIO	1	40.6
JULIO	0	5.6
AGOSTO	2	31.2
SEPTIEMBRE	2	48.0
OCTUBRE	8	39.6
NOVIEMBRE	4	46.6
DICIEMBRE	2	40.6
AÑO 2013		
MES	NUMERO DE DÍAS CON LLUVIAS SUPERIORES A 20mm	PUNTO MÁXIMO DE INTENSIDAD DE LLUVIA/HORA.
Mm/H		
ENERO	0	0.2
FEBRERO	0	1.8
MARZO	0	10.1
ABRIL	1	21.1
MAYO	1	30.2
JUNIO	1	28.4
JULIO	1	20.8
AGOSTO	3	36
SEPTIEMBRE	3	47.5
OCTUBRE	7	52.3
NOVIEMBRE	4	46
DICIEMBRE	2	36

Fuente: Superintendencia de ingeniería ambiental.

Cuadro 12. Clasificación de la precipitación según la intensidad

Clasificación de la precipitación según la intensidad	
Clase	Intensidad media en una hora (mm/h)
Débiles	≤ 2
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 15$
Fuertes	$> 15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$>30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	>60

Fuente: España el Instituto Nacional de Meteorología

3.4 CARACTERISTICAS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE

Las características y parámetros de diseño del sistema de drenaje que deberá cumplir con el criterio de bureau of de mines de los estados unidos (el cual establece que un aguacero con periodo de retorno de diez (10), años en 24 horas se desagua en diez (10) días), se mencionan a continuación:

Sumidero principal en el fondo del tajo.

Intensidad de lluvia de promedio 149mm en 24 horas

Coefficiente de escorrentía se adopta igual 0,60

Sección del canal de drenaje igual a 2 metros cuadrado (capacidad de la excavadora Caterpillar 330DL

El desagüe general de la mina se realizara hacia los sumideros en el fondo de las principales áreas, llevando las aguas a través de los corredores del highwall hacia el norte por medio de cunetas y alcantarillas.

No se permite tener agua acumulada en la pata del Retrollenado.

4 SISTEMA DE DRENAJE

Es el encargado de recoger las aguas lluvias precipitadas y de infiltración sobre el área aferente del PIT, y las conduce superficialmente y con ayuda de pendiente a un sumidero de captación localizado en el nivel más bajo del área. Para esto el área aferente debe tener límites definidos y controlados por diques, canales y desniveles que permitan conducir las aguas captadas a través de canales superficiales y alcantarillas hasta el sumidero de captación.

Para el caso de los sumideros que reciben las aguas captadas, en la mina actualmente se aplica nivel-sumidero: el agua precipitada, y de infiltración sobre el área aferente, se conduce hacia un sumidero de captación, concebido para bombear el agua hasta las torres de llenado, las que a su vez proporcionan el agua a los tanqueros los cuales se encargan de regar el agua en las vías de la mina.

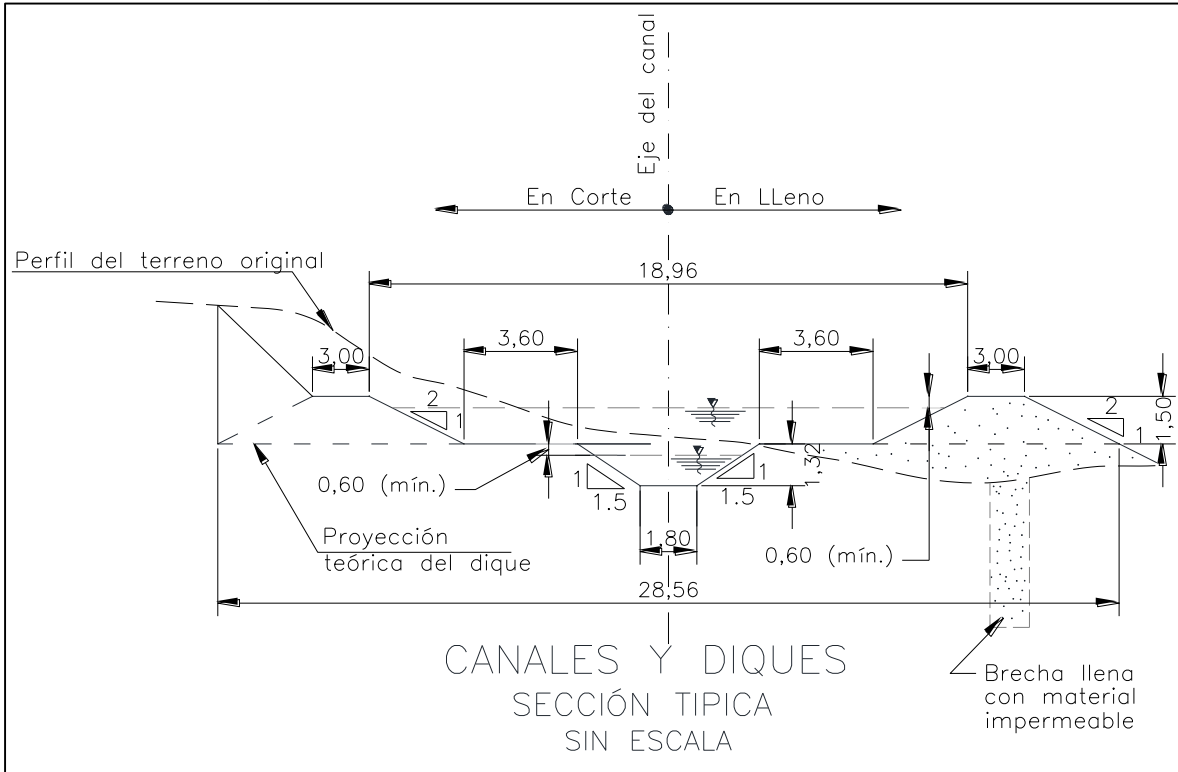
Este sistema se aplica para evacuar el agua de los niveles, pero para evacuar el agua de todo el PIT, se conduce superficialmente y con ayuda de pendientes a un sumidero de captación localizado en el nivel más bajo del PIT, donde es evacuada a través de un sistema de bombeo que está compuesto de un sumidero, una estación de bombeo y tanque de almacenamiento, (esto depende de la altura a la que se va a bombear). En el cual el agua es bombeada hasta canales perimetrales.

Para el drenaje de un frente en el área de pala se cuenta con el siguiente sistema: canal colector, bomba, torre de llenado, tanquero, sí es previamente evaluado por el superintendente de bombas. En caso que la lluvia inunde el nivel del área aferente, será necesario evacuar el equipo minero, desaguar y recuperar el área afectada. Se supondrá que se producen pérdidas a partir de precipitaciones superiores a los 20mm.

4.1 DRENAJE EN UN NIVEL DE BANCO

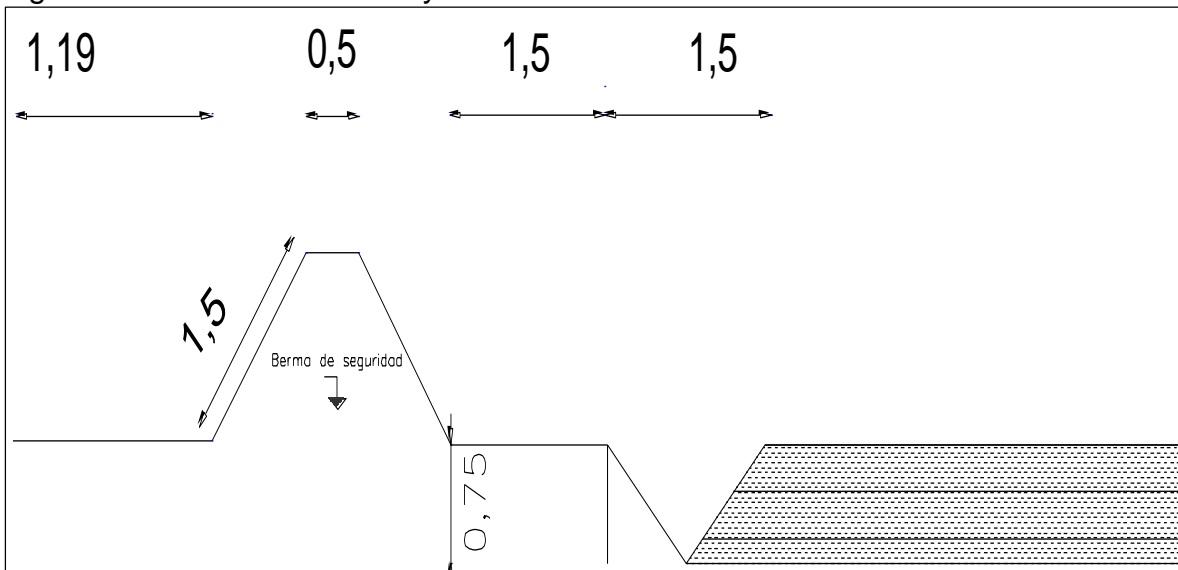
En todo nivel paralelo a toda la pared alta (límite de minería, panel o banco) con profundidad mínima de 3m y alcantarillas en cruces con vías, la pendiente del banco será de 0.5% hacia las paredes altas y niveles inferiores. Si no hay sistema de drenaje hacia el nivel inferior, deben construirse sumideros en los extremos con sistemas de bombeo por tubería. La sección típica de las labores se muestra en la figura 32 y 33.

Figura 32. Secciones típicas de Canales y Diques.



Fuente: Manual de estándares y proceso Calenturitas

Figura 33. Detalle de bermas y cunetas normas estándares



Fuente: Manual de Estándares y proceso Calenturitas

4.2 DRENAJE DE LOS BOTADEROS

Los botaderos tendrán un sistema de drenaje propio, con el cual se pretende evacuar el agua de escorrentía en forma segura desde la parte más alta del botadero hasta su base, evitando la socavación y garantizando la estabilidad del botadero. En la base de los niveles en los botaderos, se dispuso un sistema de canales de corona, el cual tiene la función de recolectar las aguas provenientes de la precipitación y del drenaje del propio botadero y llevarlas hasta las estructuras bajantes. Ubicadas cada 500m, diseñadas con revestimiento de geomembranas, las cuales conducirán el agua hasta las lagunas de sedimentación.

4.3 CONSIDERACIONES EN EL MANEJO DE DRENAJES

El manejo de las aguas de los diferentes pisos será más eficiente, manteniendo una pendiente del fondo del tajos de aproximadamente entre el 0,5% y el 1,5% con dirección noroccidente. Esto permite que el agua tienda a fluir hacia el highwall hasta el sumidero principal en el fondo del tajo.

Las cunetas de cada banco recogerán el agua entre su nivel, la cual será bombeada para abastecer los cuello de ganso (torres de llenado).

Se debe lograr un completo control de las aguas exteriores a la mina para que el manejo del agua dentro del tajo se reduzca únicamente a la precipitación que cae en el tajo. El caudal de infiltraciones de agua subterránea se considera que no es significativo comparado con los volúmenes de agua lluvia.

Los principales Componentes del sistema de drenaje.

Cunetas: son obras de canalización y evacuación rápida de las escorrentías superficiales hacia los sumideros o canales principales. Las cunetas longitudinales deben proyectarse para satisfacer una o varias de las siguientes finalidades:

Recoger las aguas de escorrentía procedentes de la vía (calzada) y de los taludes de corte y cara adyacentes.

Recoger las aguas infiltradas en la base, subbase y terrenos adyacentes.

Controlar el nivel freático.

Ahora para evitar la erosión debe limitarse la velocidad del agua, la mínima recomendada es 0,35m/s.

Alcantarillas: Son estructuras utilizadas para la evacuación de las aguas de escorrentía superficial, localizadas transversamente a la calzada de la carreteras. También permiten evacuar en sitios predeterminados los caudales entregados por las cunetas, que a su vez recogen las aguas lluvias que cae sobre la calzada. se debe tener en cuenta para la instalación de alcantarillas aspectos como: hidrología de la zona, pendientes, tipo de suelo.

Canales perimetrales: Los canales perimetrales de la mina se ubican en los flacos del sinclinal, y recogen las aguas que descargan las tuberías del sistema de drenaje del fondo de PIT, para conducir las a las lagunas de sedimentación antes de su vertimiento a las corrientes naturales.

Lagunas de sedimentación: En la zona de explotación hay un incremento en la producción de sedimentos proveniente principalmente de la zona de botaderos. Para controlar este fenómeno es necesario proyectar lagunas de retención de sedimentos que generalmente están proyectadas al final de los canales perimetrales.

4.4 CRITERIOS GENERALES PARA DETERMINAR CAUDALES DE DISEÑO⁵

Para estimar los caudales de diseño se emplea. El escurrimiento medio por evento y el máximo instantáneo, para esto se utiliza el método de las curvas numéricas, (The Runoff curve number method). El cual utiliza los datos de precipitación por evento o la precipitación máxima para un periodo de retorno deseado y el máximo potencial de retención del agua del suelo como se presenta en la (14).

$$Q = * \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + (0.8 S)} \quad (14)$$

Donde:

Q =Escurrimiento Acumulado

P = Precipitación por evento (pulgada).

S = Retención máxima potencial en pulgada. (Coeficiente de escorrentía).

Como el potencial máximo de retención de agua del suelo (S) depende de las condiciones del suelo, vegetación y manejo del cultivo, entonces es factible relacionarlo con las curvas numéricas, las cuales son función de los factores antes mencionados. El potencial máximo de retención (S) se puede obtener de acuerdo A la siguiente relación:

$$S \text{ (mm)} = (25400/CN) - 254 \quad (15)$$

Donde:

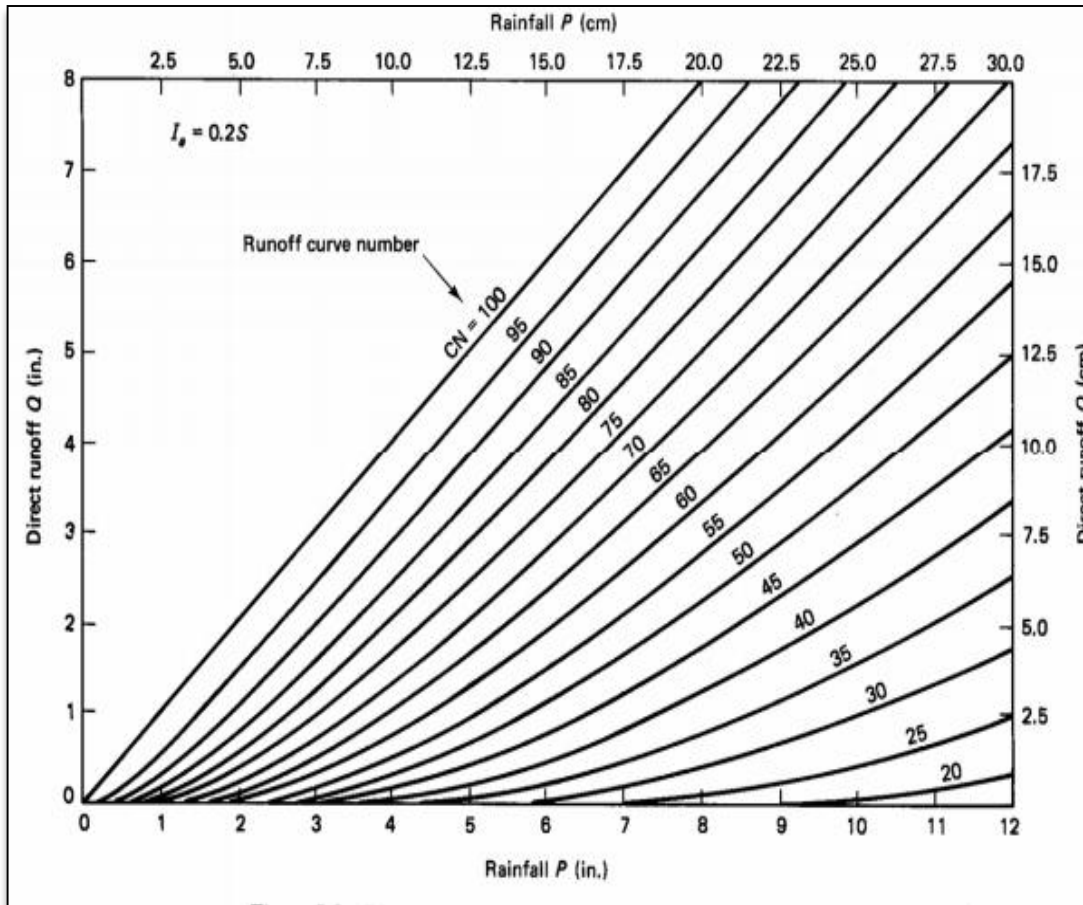
S = Potencial máximo de retención (mm).

⁵Disponible:<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Publicaciones/Lists/CursoTaller%20Desarrollo%20de%20capacidades%20orientadas%20a/Attachments/24/02.pdf>. Recuperado 25-05.14.[en línea].

CN = Curvas numéricas (a dimensional).

Número de curva de escorrentía. Representa una relación empírica entre la precipitación y la escorrentía generada por esa precipitación.

Figura 34. Gráfica de la ecuación de Escorrentía.



Fuente: Cálculo de la precipitación neta mediante el método de S.C.S.

Es un parámetro a dimensional, cuyos valores oscilan teóricamente entre 1 y 100.

CN= 1 significa una capacidad de retención máxima en la cuenca (Q=0).

CN= 100 significa una capacidad de retención nula (Q=P).

En la práctica, los valores más frecuentes están comprendidos entre 40 y 80.

El número de curva depende de:

Tipo de suelo (según su capacidad de infiltración).

Tipo de cubierta vegetal y uso del suelo.

Tratamiento del suelo (condiciones de infiltración).

Estado de humedad precedente.

Pendiente del terreno.

4.5 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR CAUDALES DE DISEÑO

Los siguientes parámetros que se mencionan, son los necesarios para tener en cuenta al determinar el diseño de canales y alcantarillas.

Definir el área aferente con base en un plano con curvas de nivel actualizado.

Seleccionar el coeficiente de escorrentía, de acuerdo con los siguientes criterios:

CN= 90, Para pendientes bajas, de 0,1% a 2%, lo cual corresponde áreas planas de botadero y bancos del tajo.

CN= 85, Para pendientes moderadas, de 3% a 8%, lo cual corresponde a áreas de vías y rampas.

CN= 85, Para pendientes altas, de 8% a 75%, lo cual corresponde a áreas de taludes.

Determinar la escorrentía de diseño utilizando el criterio de periodo de retorno de 10 años con lluvia durante 24 horas, lo cual corresponde a una precipitación de 149mm.

Con Q y el área aferente, se determina la descarga pico. Esta descarga es el caudal de diseño con el cual se puede definir el diámetro de la alcantarilla o la sección del canal.

Parámetros de diseño.

CN= 90, Para pendientes bajas, de 0,1% a 2%.

CN= 85, Para pendientes moderadas, de 3% a 8%.

CN= 85, Para pendientes altas, de 8% a 75%.

Intensidad pluviométrica 149mm en 24 horas (Cuadro 10) "Rainfall" (P):5,86", para la aplicar en la formula

Fòrmulas:

$$Q = * \frac{(P-0.2 S)^2}{P+(0.8 S)}$$

Escurrimiento acumulado (Runoff): Q para P: 5.86"

CN₉₀ Q = 6.10"

CN₈₅ Q = 4.17"

CN₈₀ Q = 3.65".

Descarga pico: Con Q y área aferente(A), se determina la descarga pico.

Q = 6.10" = 0.15 m

Descarga pico: 1500000m² x 0.15 m = 225000 m³.

Esta es la descarga máxima de diseño la cual será evacuada por el sistema de bombeo en un periodo de retorno de diez días y, es un parámetro muy importante para poder determinar el tipo de bomba y la potencia de la misma.

Diseño del sumidero. Este diseño se establece teniendo en cuenta los parámetros anteriores y tomando como base la precipitación del último año (Cuadro 11), se toma una precipitación de 52.3 que es el punto máximo de intensidad de lluvia/hora, para un número de 7 días con lluvias superiores a 20mm.

Datos

Longitud planimetría de los canales perimetrales = 3595m x 2 m² (sección de canal) = 7190 m³

Precipitación media: 52.3 mm

Escorrentía: 1.13" = 0.028 m

Capacidad del equipo de bombeo instalado por un día = 4760 GPM: 25948.8 m³

Resultados

Descarga Pico: 1500000 m² x 0.028 m = 42000 m³.

Capacidad de sumidero = descarga pico - capacidad de bombeo - volumen de canales perimetrales.

Capacidad de sumidero = 42000 m³ - 25948.8 m³ - 7190 m³ = 8862 m³

El sumidero debe tener unas dimensiones de 40 x 40 x 6 de capacidad para poder cumplir con la capacidad requerida por la descarga máxima de diseño.

5 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y CANALES (SUMIDEROS)

Los sumideros son los encargados de almacenar toda el agua que es recolectada y transportada por los diferentes canales y alcantarillas ubicados en las diferentes áreas de corte. Se pueden dividir en tres grupos según su función:

Tipo 1: son los sumideros para el desagüe de los pisos de las palas que son de dimensiones reducidas para la ubicación de la bomba

Tipo 2: son los sumideros construidos cerca de paredes altas en niveles intermedios y superiores, se emplean para rebombeo o para torre-tanquero tiene una dimensión de 15 m x 15 m x 4 m.

Tipo 3: son sumideros construidos en el nivel inferior para sacar el agua del fondo del tajo. Tiene una dimensión de 40 m x 40 m x 7 m. se construye en forma de L con rampa interna de acceso.

Figura 35. Sumidero Sector C&D



Fuente: Resultado de la investigación.

Sistema de almacenamiento de agua

Recibe las descargas del sistema de bombeo. se encuentra en niveles intermedios cota (-30), (-40) y, tiene una capacidad de almacenamiento de 10.000 galones. El agua almacenada es depositada en un canal perimetral, el cual una parte de esta es vertida al río Calenturitas. Están provistos a rebosaderos de agua en algunos casos cumplen la función de sistemas de rebombeo o boosters.

Figura 36. Sistemas de rebombeo o boosters.



Fuente: Resultado de la investigación

6 SISTEMA DE BOMBEO

Transfiere el volumen de agua recogida en el sumidero principal hasta tanques booster de almacenamientos en niveles intermedios, desde los cuales se bombea hasta niveles superiores, teniendo en cuenta las limitaciones de cabeza dinámica total de las bombas y la presión de las tuberías utilizadas.

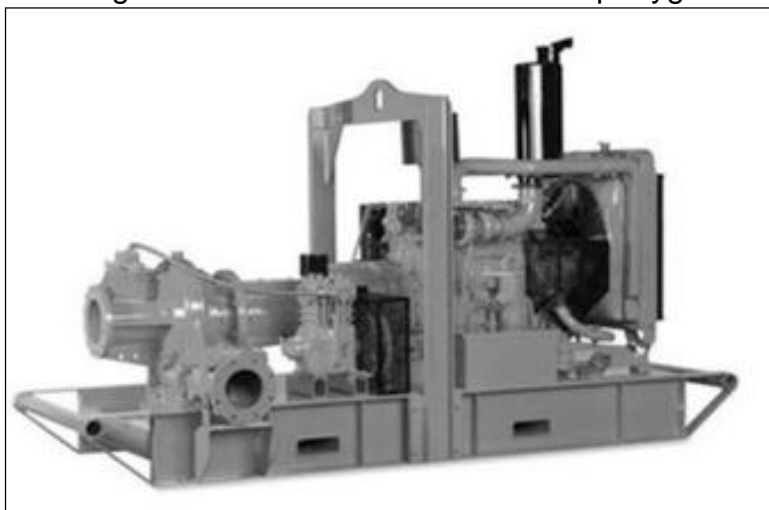
La selección de la bomba se hace teniendo en cuenta estos parámetros: magnitud de los caudales a evacuar, los niveles de succión y de descarga.

6.1 EQUIPOS EXISTENTES PARA LA RED DE BOMBEO

Para los trabajos mineros se hace necesario la elección y compra de bombas de acuerdo al diseño de la mina y la cantidad de agua que se va a evacuar del pit en este caso se hace referencia a algunos equipos existentes en la mina.

La bomba de Dri-Prime ® FHL225M es un FHL225M bomba extremadamente poderosa a la vez compacta con capacidades de flujo a 3.663 USGPM y descarga las cabezas a 371 pies. El FHL225M cuenta con el diseño único de alta presión aceite baño sello mecánico. Esto permite funcionamiento en seco durante períodos prolongados mientras automáticamente cebado y cebar. Capaz de realizar en las condiciones más duras, el FHL225M puede manejar sólidos de hasta 3 "de diámetro. Esto lo hace una bomba extremadamente eficaz, adecuada para la mezcla y aplicaciones de agua potable. El poderoso FHL225M ha demostrado ser una bomba de elección para el manejo de aguas residuales, y muchas otras aplicaciones. Estas bombas utilizan un motor diesel jhon deere con accesorios que acoplados e instalados adecuadamente son una herramienta muy valiosa en el desagüe de fuentes de avances.

Figura 37. FHL225M Dri-Prime Pump Flygt.



Fuente: Resultado de la investigación.

Especificaciones

Conexión de succión 10 "125 # ANSI B16.

Conexión descarga 8 "125 # ANSI B16.1

Max capacidad 3663 USGPM

Máx. Cabeza 371 pies (113 metros)

Max. Manejo para sólidos 3 "(65mm)

Diámetro máximo del impulsor 17"(440mm)

Max temp 176° F (80° C)

Presión de trabajo máxima de funcionamiento 159,5 psi (barra 11.0)

Presión máxima presión de aspiración 87,0 psi (barra 6.0)

Presión máxima de cubierta 246.6 psi (17,0 bar)

Máxima velocidad de operación 2000 rpm

Características

Cebado totalmente automático de seco a 28 pies Altura de aspiración.

FDri-Prime® es un funcionamiento continuo Venturi dispositivo de cebado eyector de aire que no requiere ajustes periódicos o de control.

Amplia flexibilidad de aplicación. Lo hará manejar las aguas residuales, lodos y líquidos con sólidos de hasta 3 "de diámetro.

Marcha en seco de alta presión en baño de aceite sello mecánico, con alta abrasión caras de carburo de silicio resistentes.

Una bomba centrífuga monobloc con Sistema Dri-Prime® montada en un motor diesel motor o accionamiento eléctrico.

Sonido También disponible atenuada, y con accionamiento eléctrico

Motor estándar de Caterpillar C9. También disponible con el John Deere 6090HF48.

6.2 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL SISTEMA DE BOMBEO

La metodología para el cálculo de la capacidad de bombeo para cada área aferente consta de los siguientes pasos:

Medición de las áreas aferentes del tajo considerando de acuerdo al plan trimestral de operaciones restringir al máximo el ingreso de agua lluvia superficial hacia las excavaciones.

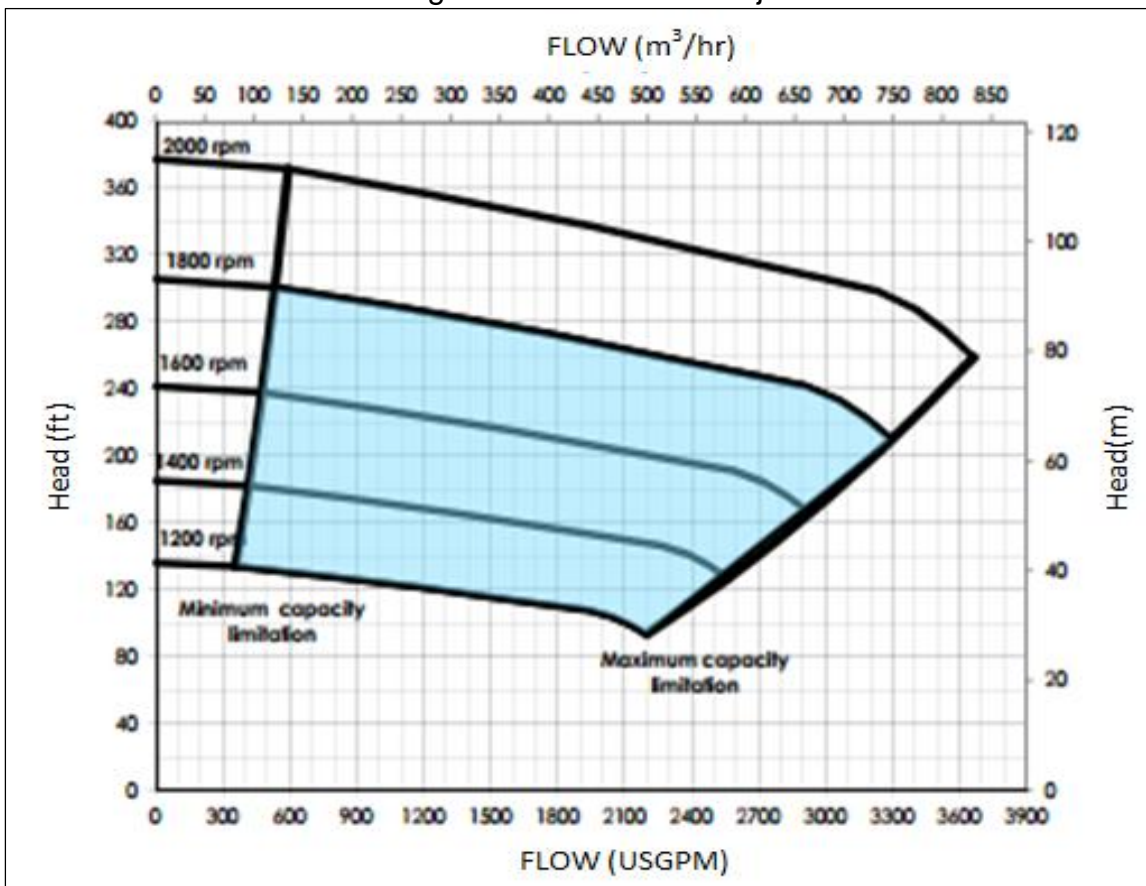
Cálculo de los volúmenes de agua que se producen en cada una de las áreas aferentes, de acuerdo con la tormenta de diseño.

Con estos volúmenes se procede a calcular el caudal de bombeo mínimo para que se cumpla su extracción en diez días.

Se comparan los caudales obtenidos en el punto anterior con los caudales requeridos determinándose así cuales equipos cumplen con estos requerimientos.

Por último se escoge la alternativa de equipo que sea más económica operativamente de acuerdo con los costos asociados de electricidad por caudal bombeado en unidad de tiempo

Figura 38. Curva de trabajo



Fuente: Resultado de la investigación.

6.3 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

Para la selección de la bomba en una tarea específica es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

Determinar la carga estática total (distancia entre el nivel del líquido a ser bombeado y el punto más alto del sistema).

Determinar el total de tubería horizontal.

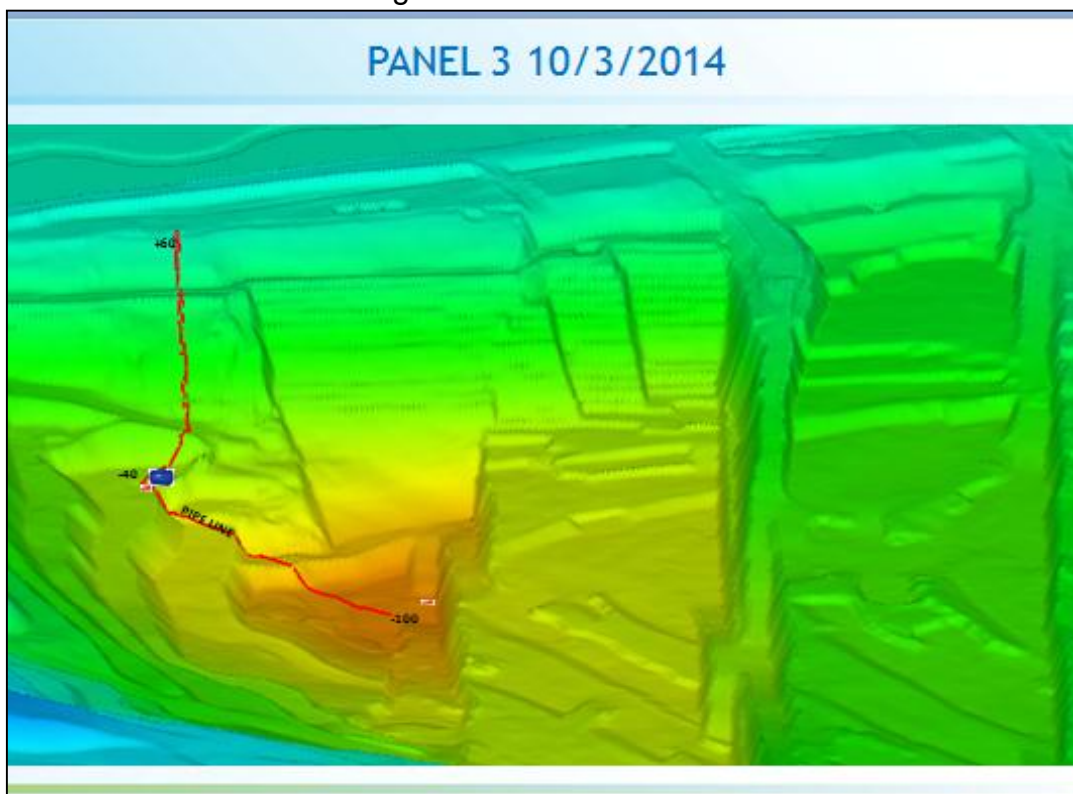
Determinar el número y tipo de componentes del sistema (válvulas, codos, etc.) y convertirlos en longitud equivalente de tubería.

Determinar las pérdidas por succión NPSH.

Por medio de cartas de fricción que posee cada fabricante de bomba centrifugas, calcular la pérdida generada por el tipo y diámetro de tubería utilizada.

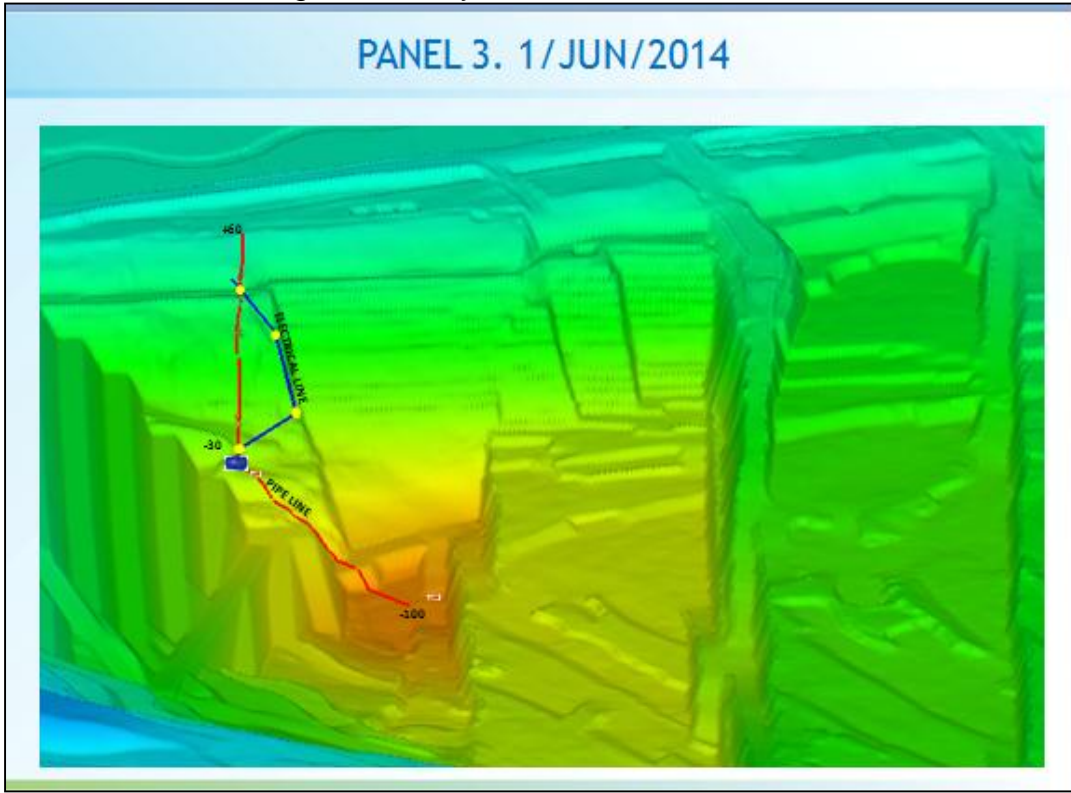
La carga dinámica total del sistema es la suma de la cabeza estática más la cabeza generada por la perdidas, (ver figura 39 y 40).

Figura 39. Sistema de bombeo



Fuente: Resultado del Estudio.

Figura 40. Proyección del sistema de bombeo.



Fuente: Resultado del Estudio.

Selección de la bomba. La bomba apropiada se seleccionara además del cálculo teórico que se indica a continuación, tomando en cuenta el siguiente criterio: una bomba que entregue al menos el caudal de diseño, contra la altura dinámica total

A dicho caudal, se obtiene utilizando las curvas características que se encuentran en catálogos que ofrecen los diferentes proveedores de bombas.

Fórmulas:

$$CDT = H_e + H_f + H_v$$

$$H_f = f \frac{l}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

He: Altura Estática Total (m). 160 m.

Hf: Perdidas por fricción en la tubería.=8.3 m

f : Coeficiente de fricción de la tubería=0,02 (Diagrama de Moody)

L: Longitud de la tubería.= 708 m

D: Diámetro de la tubería.=12pul

V: Velocidad promedio del agua en la tubería=3,362m/s

G: Aceleración de la gravedad. 9.81mts/Sg²

A=: Área de la tubería. 0,291.

Procesos:

Escorrentía: $Q = 6 \cdot 10^6 = 0,15 \text{ m}^3/\text{s}$.

CBR: EA/Tiempo de descarga

CBR: capacidad de bombeo requerida para desaguar el Pit en 10 días.

EA: descarga máxima de diseño

Resultados:

10 días = 14400 min

CBR: $225000 \text{ m}^3 / 14400 \text{ min} = 15.625 \text{ m}^3/\text{min}$: 4129GPM

$CDT_1 = 70\text{m} + 39\text{m} = 109\text{m}$.

$CDT_2 = 90\text{m} + 47\text{m} = 137\text{m}$.

Pérdidas por fricción totales: factor obtenido del diámetro de la tubería (tabla anexo H)* Total Tubería (m) /300

Total tubería (m)= Total tubería horizontal+ Carga estática total (m)+ \sum Perdidas

Factor obtenido del diámetro de la tubería=28

Se divide la carga estática en 2 estaciones, la primera va de cota (-100) a cota (-30) y la segunda de (-30) hasta el canal perimetral a cota (+ 60). Para balancear las cargas dinámicas de las bombas.

6.4 DISEÑO DE LA RED DE BOMBEO

Para diseñar la red de bombeo, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos anteriormente y se determinaron otros parámetros por medio de carta de fricción y de las curvas características, (Ver figuras 42 y 43), de la empresa fabricante, el cual nos arrojó el siguiente diseño (ver cuadro 13).

Cuadro 13. Diseño sistema de bombeo nivel 3 Sector A

Booster 1 to Booster 2	
Bomba HL260 Diesel Engine	
Bateria instalada a cota -100	
Total Tubería Horizontal	324
Carga Estática Total	70
Perdidas por Cheque Línea	24
Perdidas por Succión NPSH	8
Total Tubería Mts	426

Booster 2 to Discharge	
Bomba HL260 Electric Engine	
Bateria instalada a cota -30	
Total Tubería Horizontal	384
Carga Estática Total	90
Perdidas por Cheque Línea	24
Perdidas por Succión NPSH	8
Total Tubería Mts	506

Pérdida por Fricción	39,76
Carga Dinámica Total Mts	109,76
Carga Dinámica Total Ft	360,01

Pérdida por Fricción	47,23
Carga Dinámica Total Mts	137,23
Carga Dinámica Total Ft	450,10

Velocidad del Motor (Rpm)	1.650
Capacidad Gpm x Línea	4200

Velocidad del Motor (Rpm)	1.800
Capacidad Gpm x Línea	4000

Fuente: Resultado del Estudio.

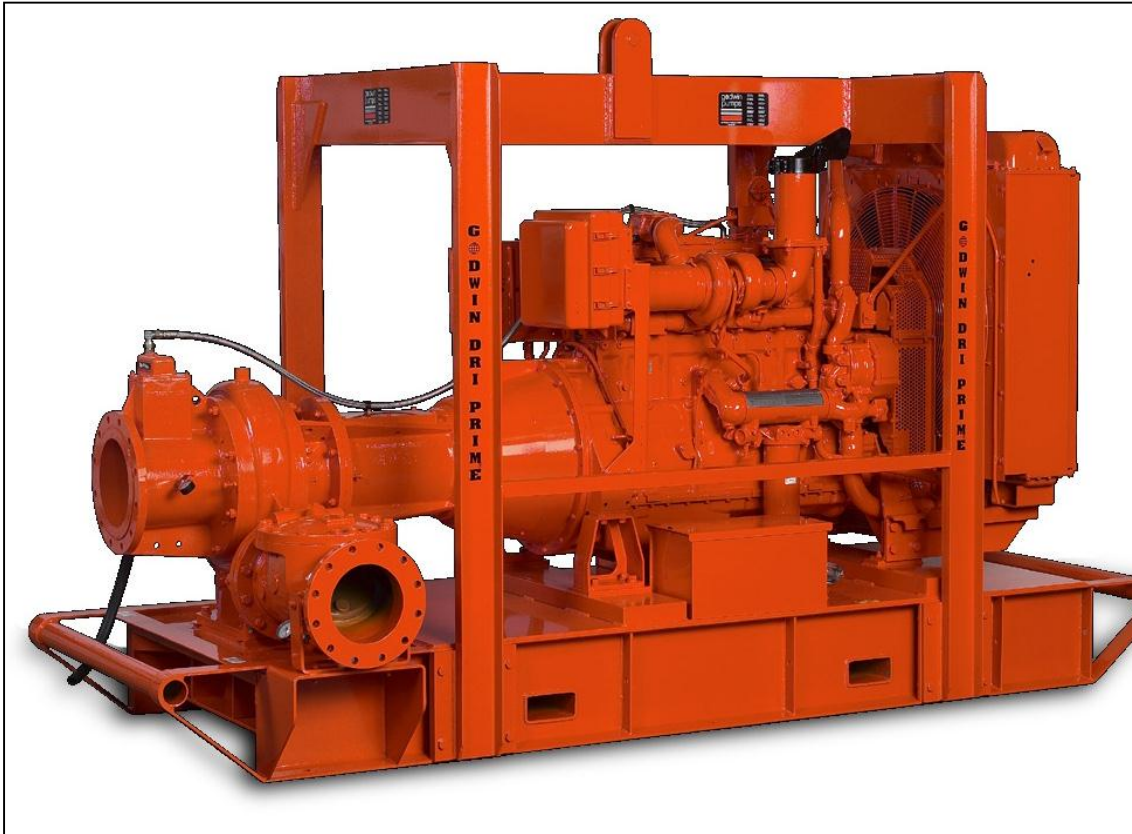
Con el siguiente diseño se establece la utilización de dos bombas HL260 una diesel y otra eléctrica las cuales la primera, bombeara el agua desde el sumidero principal cota (-100), hasta la primera estación de bombeo ubicada en la cota -30, donde está ubicado un tanque de almacenamiento booster, conjunto se ubicara otra bomba eléctrica con una tubería de succión de 16" para simular un sumidero.

El agua será bombeada con una velocidad de 1650 rpm, con una capacidad de 4200Gpm, para una carga dinámica total de 109 m, estableciendo con esto poder cumplir con el desagüe del sumidero teniendo en consideración la tormenta de diseño y el cálculo del sumidero.

Estas bombas son referenciadas bajo las denominaciones dependiendo de la capacidad y de la altura de elevación por los nombres CD, HL, en las cuales las CD son para desagüe de construcción o de poca elevación y las HL son para desagüe de fuerte elevación.

Con ayuda de los datos anteriores se escoge la bomba HL260 de godwin pumps. Ver figura 41. Que es la que mejor se ajusta a las características de este sistema, utilizando 1 bombas en cada estación se cumple con el caudal requerido para desaguar el PIT, en 10 días.

Figura 41. Bomba HL260 de godwin pumps.



Fuente: Resultado de la investigación.

El Godwin Dri-Prime 10 pulgadas x 8 pulgadas (250 mm x 200 mm) HL260M automática cebado de la bomba centrífuga es perfecto para tus trabajos más grandes. Con manejo de sólidos de 2 pulgadas (50 mm) de diámetro, el HL260M puede encontrarse en una amplia variedad de aplicaciones que requieren alto volumen.

Especificaciones

Conexiones de tubería 10"x8" (250 mm x 200 mm)

Max. Capacidad 4,760 GPM (1,081 m³/h)

Max. Cabeza 500' (150 m)

Manejo de Sólidos 2" (50 mm)

Diámetro del impulsor de 22 "(540 mm)

Max. Op. Temperatura 176 ° F (80 ° C)

Max. Presione Trabajo. 232 psi (16 bar)

Max. Presione succión. 87 psi (6 bar)

Max. Prueba Presione. 348 psi (24 bar)

Max. Op. Velocidad de 1800 RPM

Capacidad del tanque de combustible 375 gal (1,416 l).

Características:

Cebado totalmente automático de seco a 28'(8,5 m) de elevación de succión.

Accionamiento directo cebado automático alto volumen bombas centrífugas con venturi doble original de Godwin sistema de cebado Dri - Prime. También disponible en accionamiento eléctrico.

Flexibilidad de aplicación extensiva — se encargará de aguas residuales, lodos y líquidos con sólidos hasta 2 "(50 mm) de diámetro.

Funcionamiento, sello mecánico de alta presión aceite baño con caras de carburo de silicio sólido resistente a la abrasión en seco.

Construcción con impulsor de acero fundido.

Motor Caterpillar C-18 estándar, C-15 motor también está disponible.

Tamaño de la tubería. El caudal determina el tamaño, basado en una velocidad máxima de 3.65 metros por segundo.

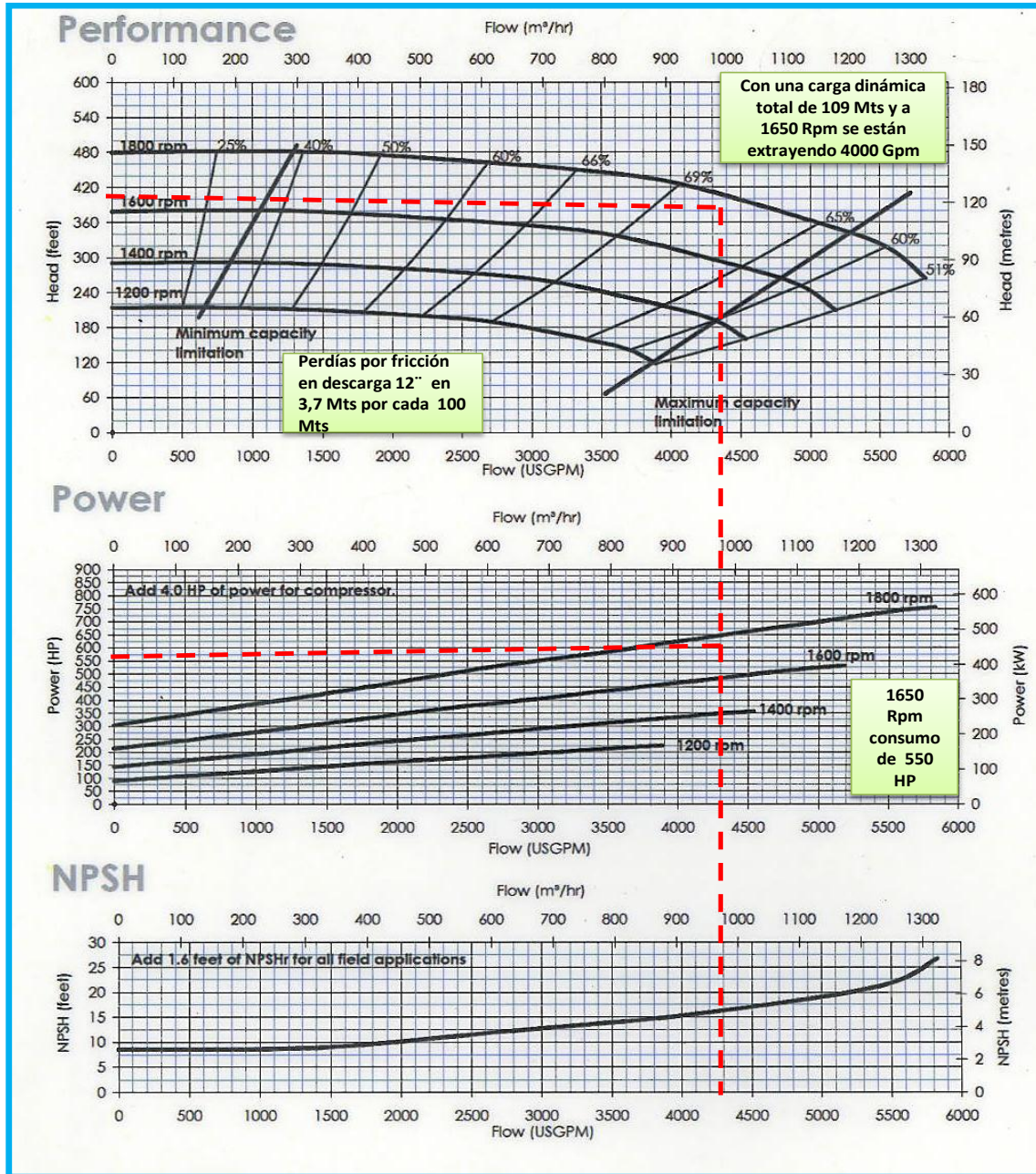
Cuadro 14. Tamaño de Tubería por la Capacidad del flujo.

Tamaño tubería		Capacidad del flujo	
3"	80 mm	16 l/S	250 Gpm
4"	100 mm	32 l/S	500 Gpm
6"	150 mm	64 l/S	1000 Gpm
8"	200 mm	128 l/S	2000 Gpm
12"	300 mm	256 l/S	4000 Gpm

Fuente: estándares del fabricante

Figura 42. Curvas características para determinar el rendimiento del equipo de bombeo. Para la primera estación.

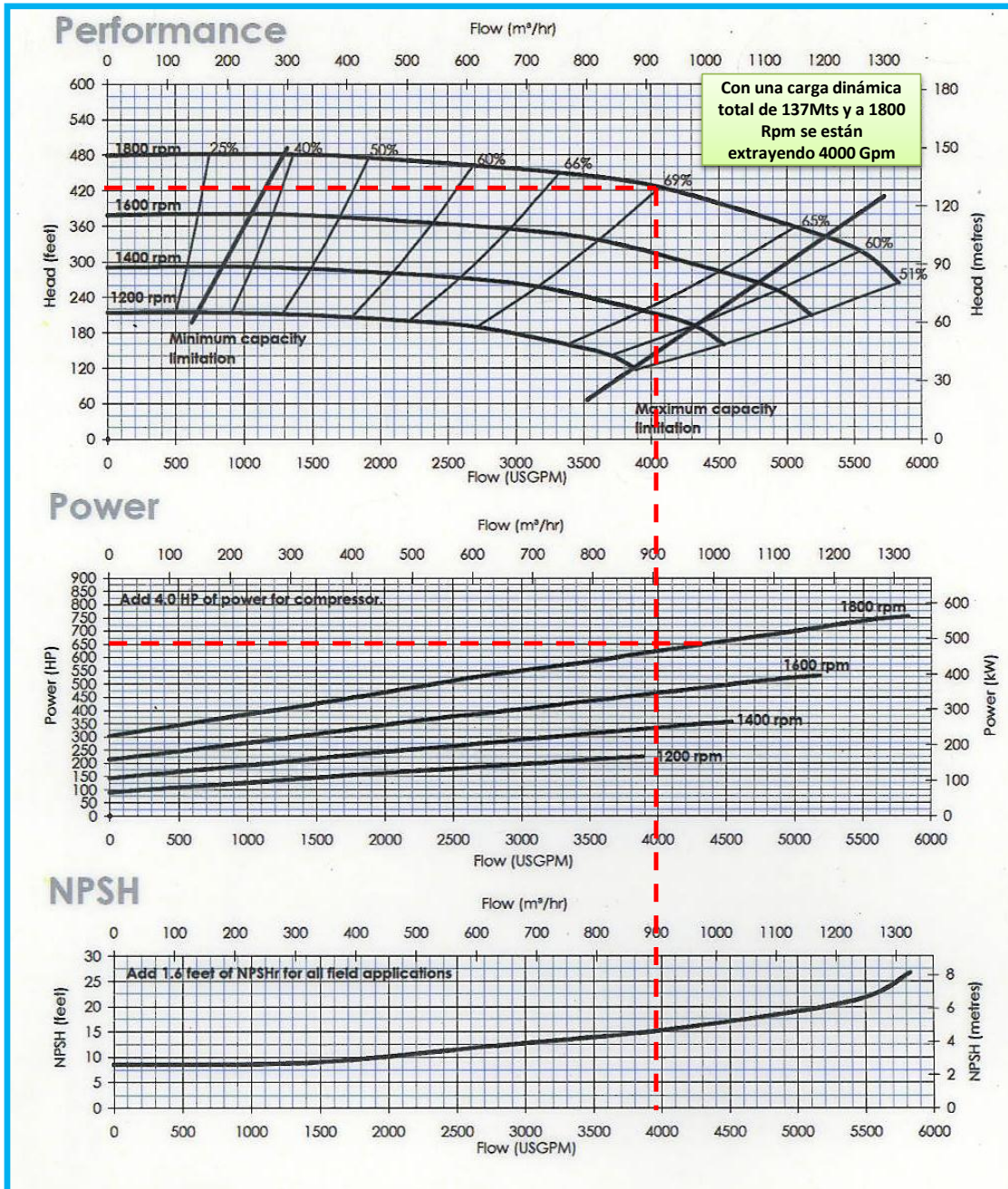
**DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO BOOSTER 1 (SUMIDERO NIVEL 3 - CORREDOR -30 NIVEL 2)
SECTOR A
BOMBAS GODWIN HL260**



Fuente: Resultado de la investigación.

Figura 43. Curvas características para determinar el rendimiento del equipo de bombeo. Para la segunda estación.

DISEÑO SISTEMA DE BOMBEO BOOSTER 2 (CORREDOR -30 NIVEL 2 –DESCARGA DEL CANAL PERIMETRAL +60 NIVEL
 3) SECTOR A
 BOMBAS GODWIN HL260



Fuente: Resultado de la investigación.

7 ANALISIS DE COSTOS

Los departamentos de obras civiles y bombas disponen de un presupuesto asignado por la compañía, para suplir sus necesidades de herramientas y equipos. Estos departamentos son de apoyo a la operación y realizan su proceso de compra con autorización de los gerentes técnicos de la mina, para realizar el proceso de compra se hace la reserva del material, se busca en sistema y se verifica si está disponible en el almacén, si el material no se encuentra se procede a catalogarlo para que el departamento de compras lo solicite al proveedor.

La empresa cuenta con un departamento de compras y costos, que apoyado técnicamente con el departamento de programación, son los encargados de gestionar con los proveedores todas las compras necesarias para la operación, este departamento de compras, cuya función es hacer pedidos de materiales y de los suministros necesarios para la producción, es responsable de garantizar que los artículos pedidos reúnan los estándares de calidad establecidos por la compañía y que se adquieran al precio más bajo y se despachen a tiempo. Buscando el equilibrio entre la productividad y los costos, para lograr una óptima eficiencia. Es decir, alcanzar la producción deseada al costo más bajo posible.

Se analizan los costos que generan los materiales y otros costos en los que se infiere a la implementación del sistema de bombeo, y así para implementar el equipo de bombeo, se toma en consideración las cotizaciones obtenidas por el fabricante, en las cuales se detallaron los siguientes tipos de costos.

Costos de Materiales.

Costos de ingeniería.

Costos de materiales. Son todos aquellos materiales imprescindibles y necesarios utilizados para la construcción del sistema de bombeo, entre los cuales se incluye el material eléctrico, hidráulico, accesorios.

Costos de Ingeniería y Administrativos. Se considera el 15 % del valor total del SISTEMA DE BOMBEO. En base a un estándar de la EMPRESA

Cuadro 15. Costos de materiales

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO EXW USA	VALOR TOTAL
Equipo de bombeo GODWIN				
1	Godwin Dri-prime model HL 260 automatica,Autocebante to(28 feet)electric pumpset conexión 10" succión y 8" Descarg, incluye conexión con acople rapido, no necesitan valvula de pie en la succion.Manejo de solido de 1.5 " funcionamiento en seco, sellos mecanicos independientes en camaras de aceite. Bombas montadas en skid totalmente autocebante	2	\$ 118.128,0	\$ 236.256,0
2	Godwin soft start control panel maximum overload 820 Amps 460 volt,3 phase with Roll cage	2	\$ 34.507,5	\$ 64.160,0
3	Tuberia HDPE 12" RD 11X Mts	708	\$ 74,07	\$ 52.441,6
			TOTAL SIN IVA	\$ 352.857,6
			IVA	0
			TOTAL	\$ 352.857,6

Tabla 1. Costo total del proyecto

DETALLE	COSTO (Dólares)
Costo de Materiales	\$ 352858
SUBTOTAL	\$ 352858
Administrativos y de Ingeniería 15%	\$ 52928.7
SUBTOTAL	\$ 405786.7
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 405786.7

8 PLAN DE CONTINGENCIA

Debido a que el complejo carbonífero calenturitas cuenta con un plan de contingencia muy extenso en el cual se describe las medidas y pasos a seguir en caso de desastres el departamento de seguridad industrial publica folletos en los cuales se encuentra los pasos específicos a seguir en caso de inundaciones en los tajos.

Establecer los canales de comunicación con su supervisor inmediato.

Tomar medidas necesarias para proteger materiales y equipos expuestos a las inclemencias del tiempo.

Encender los equipos de bombeo disponible en el Tajo.

Disponer de la desconexión en los momentos oportunos de los equipos eléctricos.

Proveer al personal el transporte y los equipos necesarios.

Establecer un control del movimiento de equipos que se efectuó durante la emergencia, de forma tal que el mismo pueda localizarse cuando regrese la normalidad.

Determinar la evacuación o desalojo del Tajo cuando se presente problemas de inundación en el tajo.

Designa personal para dirigir el tránsito y la evacuación del Tajo.

CONCLUSIONES

En términos generales, el desarrollo del proyecto ha mejorado el tratamiento y el manejo de las aguas de escorrentía que afectan la operación tanto en épocas de lluvias como en épocas secas, que ocasionan retraso en la operación obteniendo una mayor eficiencia a menor costo provenientes de las reducción de las estaciones de bombeo, tubería y materiales.

Además, se mejoró la capacidad de evacuación del agua desde los sumideros temporales hacia el sumidero principal, que en primera instancia va a servir para almacenar en épocas de lluvia, manteniendo los otros niveles en buenas condiciones de trabajo y reabastecer en épocas secas todo el sistema de riego.

El desarrollo del proyecto ha conllevado también, a la organización del departamento de bomba, el cual a la fecha tiene dispuesto una base de datos de todos los materiales disponibles y por comprar, conllevado esto a una mejora en el proceso y a la reducción de costos en materiales.

La manera como se ha diseñado el sistema de bombeo en el sector A, ha venido cambiando de la misma forma en que se ha cambiado la configuración del pit, es esta una de las principales razones por lo que el sistema de bombeo es dinámico, del cual es necesario revisar constantemente el diseño para hacerle los ajustes que permitan optimizar el proceso utilizando todas las técnicas y teorías de diseño, acopiando información de los cambios topográficos y cruzando información con los planes de minería a corto y largo plazo en procura de alcanzar un plan a mediano plazo que sea funcional, económico y que sea la solución a la problemática planteada.

RECOMENDACIONES

Mejorar la disponibilidad de los equipos encargados del mantenimiento del sistema de drenaje (excavadoras).

Monitoreo y limpieza de canales en épocas de verano.

Diseñar un plan de mantenimiento periódico del sistema de drenaje con el fin de evacuar el material sedimentado y conservar la geometría de todos los elementos que hacen parte sistema de drenaje.

Verificar en campo las condiciones de operación de las bombas y modificarlas cuando sea necesario. Con el fin de determinar en qué medida las condiciones de diseño están cambiando.

Mantener un stock de accesorios, tubería y mangueras en diferentes diámetros para épocas de lluvia.

Mantenimiento preventivo y mejoramiento del stock de bombas

Establecer vigilancia constante en los tanques de transferencia e implementar un sistema de eléctrico de llenado.

Proveer entrenamiento técnico específico a personal de bombas. Con el apoyo del fabricante.

Establecer un control con el personal encargado de la manipulación de las bombas, para que se haga un reporte oportuno al Dispatch sobre el status de las bombas.

Implementar un sistema de iniciación eléctrico, para que las estaciones de bombeo inicien al mismo instante.

BIBLIOGRAFIA

CATERPILLAR, GECOLSA. (2011). *Manuales de camiones CAT*.

Datos varios de C.I Prodeco S.A.

HITACHI S.A, *Manual de especificaciones EH4000ACII*.

Herrera Herbert, J. Introducción al drenaje de explotaciones mineras.

INTEGRAL S.A. Plan de Trabajo e Inversión de la Mina Calenturitas. (2003).

INTEGRAL S.A. Estudios Geotécnicos, Hidrogeológicos y de Manejo de aguas. Mina de carbón Calenturitas. (2002).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NOMAS TECNICAS. Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Santafé de Bogotá DC. ICONTEC, 2008.NTC1486.

J.M de Acevedo Netto y Acosta A. Guillermo. Manual de Hidráulica, Sao Paulo, 1975. Ed. HARLA.

Kenneth J. McNaughton Revisión Técnica José Hernán Pérez Castellanos Ingeniero Industrial Escuela Militar de Ingenieros Profesor Titular. *Bombas. Selección, uso y mantenimiento*. (1998).ESIME, IPN.

Salazar Cotes, Fernando. *Selección de equipo de bombeo para un sistema de suministro de agua*. México, unidad profesional Esime Azcapotzalco.

URLhttp://oa.upm.es/10404/1/INTRODUCCION_AL_DRENAJE_MINERO-R01-090320.pdf

ANEXOS