UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE MINAS

PLAN DE DRENAJE PARA LAS MINAS LAS PAILAS Y LOS BARRANCOS, PERTENECIENTES AL CUADRILATERO FERRIFERO SAN ISIDRO, UBICADO EN EL MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ESTADO BOLIVAR.

TRABAJO FINAL DE GRADO PRESENTADO POR LA BACHILLER PÉREZ ROSIRIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE MINAS

CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE 2012

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, intitulado **PLAN DE DRENAJE PARA LAS MINAS LAS PAILAS Y LOS BARRANCOS, PERTENECIENTES AL CUADRILATERO FERRIFERO SAN ISIDRO, UBICADO EN EL MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ESTADO BOLIVAR,** presentado por la bachiller **ROSIRIS PÉREZ,** ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombre:	Firma:
Bezeida Osío (Asesor)	
Jesús A Fernández (Jurado)	
María Rojas (Jurado)	

Profesor William Cañas

Jefe del Departamento de Minas

Ciudad Bolívar _____ de _____ 2012____.

Agradecimientos

Antes que todo gracias a Dios todo poderoso, por guiarme por el camino de la sabiduría y el aprendizaje, y por todo lo bueno que me ha dado.

A mi Madre por brindarme su apoyo, protección y cuidados a lo largo de toda mi vida. A ti mil Gracias.

A mi Papá quien nos dejo muy temprano para reunirse con nuestro señor Jesús, a el con todo mi cariño y amor le digo, Gracias por haber existido y ser nuestro padre.

A mis hermanos que de una u otra manera contribuyeron con este logro.

A la Universidad de Oriente y todos sus profesores por haber contribuido en mi formación profesional.

A la empresa C.V.G. Ferrominera Orinoco c.a por haberme permitido realizar mi trabajo de grado en sus instalaciones.

A mi tutores Ingeniero Bezeida Osio tutor académico y el Ingeniero Silvino Suárez tutor industrial por asesorarme en la realización de este trabajo.

A los Ingenieros Julio Marrero, Rolando Salazar,gracias por compartir sus conocimientos conmigo y a todo el personal del departamento de planificación y desarrollo de minas. Estoy muy agradecida con ustedes.

En general a todos los que aun con sus palabras de ¿Cómo vas con tu tesis? Me dieron su apoyo de una u otra forma.

Resumen

Las Pailas y Los Barrancos, son las minas pertenecientes al Cuadrilátero Ferrífero San Isidro que se ubican en el Municipio Angostura del Estado Bolívar y que actualmente se encuentran en producción por parte de la C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. El desalojo de las aguas de las diferentes áreas en operación y carreteras es de gran interés, debido a que estas aguas dificultan las labores mineras. Por lo tanto, en el presente trabajo, se realiza la elaboración del plan de drenaje de las minas antes mencionadas con el propósito de establecer pautas a seguir e indicar las actividades necesarias para garantizar un sistema de captación y ubicación final de aguas de escurrimiento superficial de tal manera que la integridad de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. El procedimiento o metodología se desglosa a partir de información disponible y de registros de precipitación, para luego realizar diversas visitas a las áreas en donde se determinaron las principales actividades para controlar el drenaje en las diferentes minas. De esta manera se establecieron los cálculos de caudal y gráficos necesarios para poder determinar las dimensiones de los elementos de recogidas de las aguas y así implementar el sistema de drenaje. De acuerdo a estos cálculos se arrojaron resultados en donde gran parte de las aguas son canalizadas a través de cunetas y alcantarillas hasta los diferentes diques.

CONTENIDO

Página

HOJA DE APROBACION.....ii
DEDICATORIA.....iii
AGRADECIMENTOS.....iv
RESUMEN.....v
CONTENIDO.....vi
LISTA DE FIGURAS.....xi
LISTA DE TABLAS.....xiii
LISTA DE APÉNDICES.....xiv
INTRODUCCIÓN.....1
CAPITULO I SITUACIÓN A INVESTIGAR.....3
1.1 Situación objeto de estudio.....3
1.2 Objetivos de la investigación.....3
1.2.1Objetivo General.....3
1.2.2Objetivos Específicos.....4
1.3 Justificación.....4
1.4 Alcance.....4
CAPITULO II GENERALIDADES.....5
2.1 Ubicación Geográfica del Área.....5
2.2 Acceso.....5
2.3 Características Físico- Naturales.....5
2.3.1 Topografía de la zona.....5
2.3.2 Vegetación de la zona.....7
2.3.3 Drenaje de la zona.....7
2.3.4 Clima y Precipitación.....8
2.3.5 Geomorfología.....8

2.4 Geología Regional……...8
2.4.1 Litología…….....9
2.4.2 Edad y Extensión Geográfica……10
2.4.3 Suelos…….....10
2.5 Geología Local…….....11
2.5.1Cerrolas pailas……...12
2.5.2 Cerrolos barrancos……12
2.6 Clasificación Litológica……13
2.6.1 Menas de alto tenor……....13
2.6.1.1 Menas duras……13
2.6.1.2 Menas blandas……16
2.6.2 Menas de bajo tenor……18
2.6.2.1 Cuarcita ferruginosa friable……18
2.6.2.2 Cuarcita ferruginosa dura……18
2.6.3 Estéril……..19
2.6.3.1 Laterita……19
2.6.3.2 Gneis……19
2.6.3.4 Anfibolita……20
CAPITULO III MARCO TEORICO……21
3.1 Ciclo del agua……21
3.1.1 Precipitación……...22
3.1.1.1 Tipos de precipitación……....23
3.1.1.2 Cómo se satura el aire……..23
3.1.1.3 Cómo se forma la precipitación……...24
3.1.1.4 Formas de precipitación……...25
3.1.1.5 Características de la precipitación……...27
3.1.1.6 Medida de la precipitación……..27
3.1.1.7 Periodo de retorno……41
3.1.1.8 Frecuencia de inundación……41

3.1.2 Escorrentía superficial……41
3.1.2.1 Generación……...42
3.1.3 Evaporación……44
3.1.4 Transpiración……..45
3.1.5 Medición de la evaporación y la transpiración……...46
3.1.5.1 Tanques de evaporación……..46
3.1.5.2 Recipientes de vaporización……48
3.1.5.3 Recipientes de porcelana porosa……49
3.1.5.4 Evaporímetros de disco de papel……....50
3.1.5.5 Evaporígrafos……...51
3.1.6 Infiltración o percolación……52
3.1.6.1 Medición de la infiltración……...53
3.1.7 Escurrimiento……..55
3.1.7.1 Escurrimiento superficial o escorrentía……...56
3.1.7.2 Escurrimiento subsuperficial……...56
3.1.7.3 Escurrimiento subterráneo……...57
3.1.7.4 Fases del escurrimiento……57
3.1.7.5 Factores que afectan al escurrimiento……..61
3.1.7.6 Medición del escurrimiento……66
3.2 Drenaje superficial……75
3.2.1 Consideraciones generales……..76
3.2.2 Factores que influyen en el drenaje superficial……..76
3.2.3 Cálculos de los caudales de referencia……...78
3.2.3.1 Fórmula de cálculo……..79
3.2.3.2 Intensidad media de precipitación……...80
3.2.3.3 Tiempo de concentración……80
3.2.3.4 Coeficiente de escorrentía……81
3.2.4 Drenaje de la plataforma o vía……83
3.2.5 Dispositivos de recogida y evacuación de aguas……85

3.2.5.1 Cunetas……85
3.2.5.2 Alcantarillas o colectores……89
3.2.5.3 Diques o lagunas de sedimentación y trampas de sedimentos……97
CAPITULO IV METODOLOGIA DE TRABAJO……..100
4.1 Tipo de investigación……...100
4.2 Diseño de investigación……...100
4.3 Flujograma.....100
4.3.1 Visita al área de estudio……102
4.3.2 Recopilación de información bibliográfica……..102
4.3.3 Revisión de registros de precipitación y elaboración de gráficos……102
4.3.4 Análisis de la información……103
4.3.4.1 Diseño del sistema de drenaje en las áreas seleccionadas……103
4.3.4.2 Cálculos de caudal en las zonas a drenar……..104
4.3.4.3 Colocación y cálculo del diámetro de las alcantarillas……..105
4.3.4.4 Colocación y cálculo de las cunetas……..105
CAPITULO V ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS……107
5.1 Drenaje de las minas las pailas y los barrancos……...107
5.1.1 Mina las pailas……..107
5.1.2 Mina los barrancos……107
5.2 Precipitación del área de estudio……109
5.3 Registros de pluviosidad del área de estudio……..109
5.4 Delimitación de las áreas a ser drenadas……115
5.4.1 Mina las pailas……..115
5.4.2 Mina los barrancos……116
5.5 Cálculo del caudal de agua en las minas……117
5.5.1 Caudal del área de la mina las pailas……117
5.5.2 Caudal de las áreas de la mina los barrancos……118
5.5.2.1 Caudal del área 1 o Eje A……..118
5.5.2.2 Caudal del área 2 o Eje B……..118

5.5.2.3 Caudal del área 3 o Eje C……..119
5.5.2.4 Caudal del área 4 o Eje D……..119
5.6 Cálculo de la dimensión de las cunetas……...120
5.7 Cálculo del diámetro de las alcantarillas……122
5.8 Establecimiento del sistema de drenaje……...124
5.9 Mantenimiento de los elementos del drenaje existentes en las minas…….125
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……127
Conclusiones……..127
Recomendaciones……..128
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS……....130

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 2.1 Ubicación de los yacimientos C.V.G Ferrominera Orinoco, C.A……...6
Figura 2.2 Mapa geológico generalizado del escudo de guayana……...10
Figura 2.3 Menas duras…….....16
Figura 2.4 Menas blandas……18
Figura 2.5 Menas de bajo tenor……...19
Figura 2.6 Material estéril……20
Figura 3.1 Pluviómetro ordinario…….....30
Figura 3.2 Pluviómetro tipo Norteamericano…….....32
Figura 3.3 Pluviómetro tipo Hellmann……....32
Figura 3.4 Nivómetro radioactivo……...34
Figura 3.5 Totalizador de Montaña…….....36
Figura 3.6 Pluviógrafo sin sifón automático……...37
Figura 3.7 Pluviógrafo con sifón automático tipo Hellmann…….....38
Figura 3.8 Pluviógrafo de Balanza……..……39
Figura 3.9 Pluviógrafo de oscilación…….....40
Figura 3.10 Pluviógrafo combinación de balanza y de oscilación tipo Nilsson……..41
Figura 3.11 Tanque de evaporización……..….....48
Figura 3.12 Evaporímetro Wild tipo pesacartas……..…49
Figura 3.13 Esfera de Livingston……..…….....50
Figura 3.14 Evaporímetro Piche……..……51
Figura 3.15 Diagrama del escurrimiento……..……...56
Figura 3.16 Tipo de corriente según recargue al manto freático (influente) o se alimente del manto freático (efluente)……..……..59
Figura 3.17 Forma de designar el orden de las corrientes en un rio…….....66
Figura 3.18 Estación hidrométrica de aforos o pluviométrica……...……..68

Figura 3.19Limnímetros……..…….....69
Figura 3.20 Limnígrafos de flotador…….……70
Figura 3.21 Limnígrafos de flotador y pozo amortiguador……..……..71
Figura 3.22 Limnígrafos de presión……..……..71
Figura 3.23 Molinete……..…….....73
Figura 3.24 División en franjas de la sección transversal de un rio…….....73
Figura 3.25 Vertedor……..……75
Figura 3.26 Tipos de cunetas……..…….....86
Figura 3.27 Vista en planta de tubos para pequeñas obras de drenaje transversal……..……....93
Figura 3.28 Tubo sobredimensionado y enterrado para respetar el ancho del cauce natural……..……95
Figura 3.29 Tipo de embocadura bajo terraplén……...……..96
Figura 3.30 Trampa de sedimentos: A) Sección vertical, B) Vista en planta…..…...98
Figura 3.31Laguna de sedimentación o dique: 1) Sección verticalB) Detalle del dique……..……..99
Figura 4.1 Flujograma de actividades……...…….....101
Figura 5.1 Gráfico de precipitación anual del periodo 1980-2011……...……....111
Figura 5.2 Gráfico de precipitación mensual en el año más lluvioso (2003)……...……..103
Figura 5.3 Gráfico de precipitación diaria en el mes más lluvioso (julio)…..……..115
Figura 5.4 Forma triangular para cuneta……..……....121
Figura 5.5 Alcantarilla de acero corrugado galvanizado……..……123

LISTA DE TABLAS

Página

Tabla 3.1 Valores de K……...…….79
Tabla 3.2 Estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm)……...…….83
Tabla 3.3 Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.….89
Tabla 3.4 Coeficientes (n) de rugosidad típicos……..……90
Tabla 3.5 Valores máximos de velocidad del flujo para evitar la erosión…...……91
Tabla 3.6 Dimensión mínima de un tubo en función de su longitud……..……95
Tabla 5.1 Precipitación anual del periodo 1980-2011……..…….110
Tabla 5.2 Precipitación mensual en el año más lluvioso (2003)……..….112
Tabla 5.3 Precipitación diaria en el mes más lluvioso……...……114

LISTA DE APENDICES

Página

A. DATOS PLUVIOMETRICOS……133

A.1 Datos pluviométricos……..134

INTRODUCCIÓN

La procedencia del agua que puede encontrarse en una explotación a cielo abierto puede ser muy variable: a.)Aguas de drenaje (subterráneas y pluviales, en función de las características dela explotación (meteorología, morfología de la zona de extracción, etc.), b.)Captación de las aguas superficiales (ríos u otros cursos de aguas).

Una de las principales labores de la planificación minera es la de mantener en condiciones adecuadas el área de trabajo, para lo que es frecuente un sistema de drenaje adecuado a las condiciones de las minas.

La Jefatura de Área de Planificación y Desarrollo de Mina de C.V.G. FERROMINERA ORINOCO, C.A. se ve en la necesidad de realizar un estudio para la implantación de un sistema de drenaje en las Minas Las Pailas y Los Barrancos que permita el desalojo de las aguas de escorrentías que se concentren en las áreas operativas de las minas, esto con la finalidad de que no obstaculicen o tengan consecuencias negativas en las operaciones mineras, sobre todo en épocas de lluvias.

Este trabajo tiene como principio fundamental establecer las actividades necesarias para obtener un sistema de drenaje que permita optimizar el desarrollo de las operaciones en las minas. El desarrollo del mismo se va a estructurar de la siguiente manera: el marco teórico necesario para abordar el tema, planteamiento de un esquema a seguir para el drenaje en la mina, revisión de las estadísticas de pluviosidad de la zona de estudio, selección y división de las minas en áreas tomando en cuenta su topografía, señalización en plano del recorrido de las aguas; por último se llevan a cabo los cálculos pertinentes de: el caudal que se produce o caudal de referencia, los elementos para el desalojo del caudal de referencia, es decir, el patrón

para el diseño de la cuneta y selección de la alcantarilla. De esta manera se podrá garantizar el cumplimiento del plan de minas que tiene propuesto el área de planificación de minas.

CAPITULO I
SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Situación objeto de estudio

En las minas Las Pailas y Los Barrancos a través del área de planificación y desarrollo de minas se está proponiendo un plan referente al drenaje de las aguas que se concentran en diversas áreas de las minas, aunado a esto se debe establecer una serie de pautas para abordar la situación.

El propósito del plan consiste en establecer un sistema de drenaje en las minas Las Pailas y Los Barrancos que permita el desalojo de las aguas provenientes de las lluvias, y así evitar de la mejor manera posible que se entorpezca la marcha normal de trabajo.Aún en el caso de que el problema del drenaje no sea grave debe prestárselemucha atención si la estabilidad de los taludes y pistas resultan afectados por la humedad.

Este diseño va a indicar ciertas pautas a seguir a fin de poner en práctica una serie de etapas o labores que son requeridas para poder establecer una red de drenaje en las minas Las Pailas y Los Barrancos y que va a servir de modelo para posteriormente adaptarlas a otras situaciones en las otras minas.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un plan de drenaje para las minas Las Pailas y Los Barrancos, pertenecientes al Cuadrilátero San Isidro, ubicado en el municipio Angostura del Estado Bolívar.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Seleccionar las áreas para un estudio detallado.
2. Conocer el caudal de agua que fluye en las zonas a tratar.
3. Describir en cada una de las áreas de estudio las actividades a realizar.
4. Colocar las alcantarillas, cunetas y diques de acuerdo a lo establecido.
5. Elaborar un plano final de drenaje de las minas.

1.3 Justificación de la investigación

En la actividad minera se necesita liberar grandes cantidades de agua no deseables, que causan inconvenientes para llevar a cabo todas las operaciones y garantizar la explotación del mineral; por esta razón se requiere establecer un drenaje de las aguas superficiales o de escorrentías provenientes principalmente de las lluvias. El trabajo es desarrollado con la finalidad de elaborar y controlar el drenaje de las aguas en las diferentes minas, de acuerdo a la topografía que ha sido modificada a consecuencia de la explotación y ejecución de las labores mineras.

Estoconsiste en captar, transportar y desalojar los flujos de agua de manera de evitar su interferencia en las diferentes áreas de operación y minimizar su impacto en el medio ambiente circundante.

1.4 Alcance de la investigación

La presente investigación se enfocara,en elaborar un plan de drenaje para la recolección, transporte y lanzamiento final de aguas de escurrimiento superficial de modo que la integridad de los terrenos y las características de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. De esta forma, el propósito del drenaje es controlar la erosión, la minimización de la colmatación.

CAPITULO II
GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área

Los yacimientos de hierro del Distrito Ferrífero Piar se encuentran ubicados entre los 63º 10’ de longitud Oeste y 7º 25’ de Latitud Norte. Dichos yacimientos se encuentran separados de Ciudad Guayana por 135 Km., de Ciudad Bolívar por 125 km., y de Ciudad Piar por 125 km. Todos los yacimientos están localizados en el Municipio Angostura, del Estado Bolívar, Venezuela. (Figura 2.1)

2.2 Acceso

Las minas que se encuentran actualmente en explotación por C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A., están enmarcadas dentro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro (Las Pailas, San Isidro y Los Barrancos) y se conectan a través de una carretera asfaltada con sus localidades más cercanas como son: Santa Bárbara de Piar, San José de Tocomita y Ciudad Piar (Capital del Municipio Angostura).

2.3 Características físico – naturales

Entre estos se encuentran: la topografía, la vegetación,el drenaje, el clima y la precipitación.

2.3.1 Topografía de la zona

Se presentan diversas formas topográficas controladas por los diferentes tipos de rocas que constituyen el Complejo de Imataca y la Formación Mesa, comprendidas entre el río Orinoco al Norte, la falla de Santa Bárbara al Sur, el río Caroní al Este y

el río Aro al Oeste. Acantilados característicos de las formaciones sedimentarias horizontales, destacan sobre la Formación Mesa, sobre los cuales aparecen afloramientos de rocas de la parte Norte del Complejo Imataca. En la faja del Cerro Bolívar, al sur de la falla de Guri, la topografía está caracterizada por

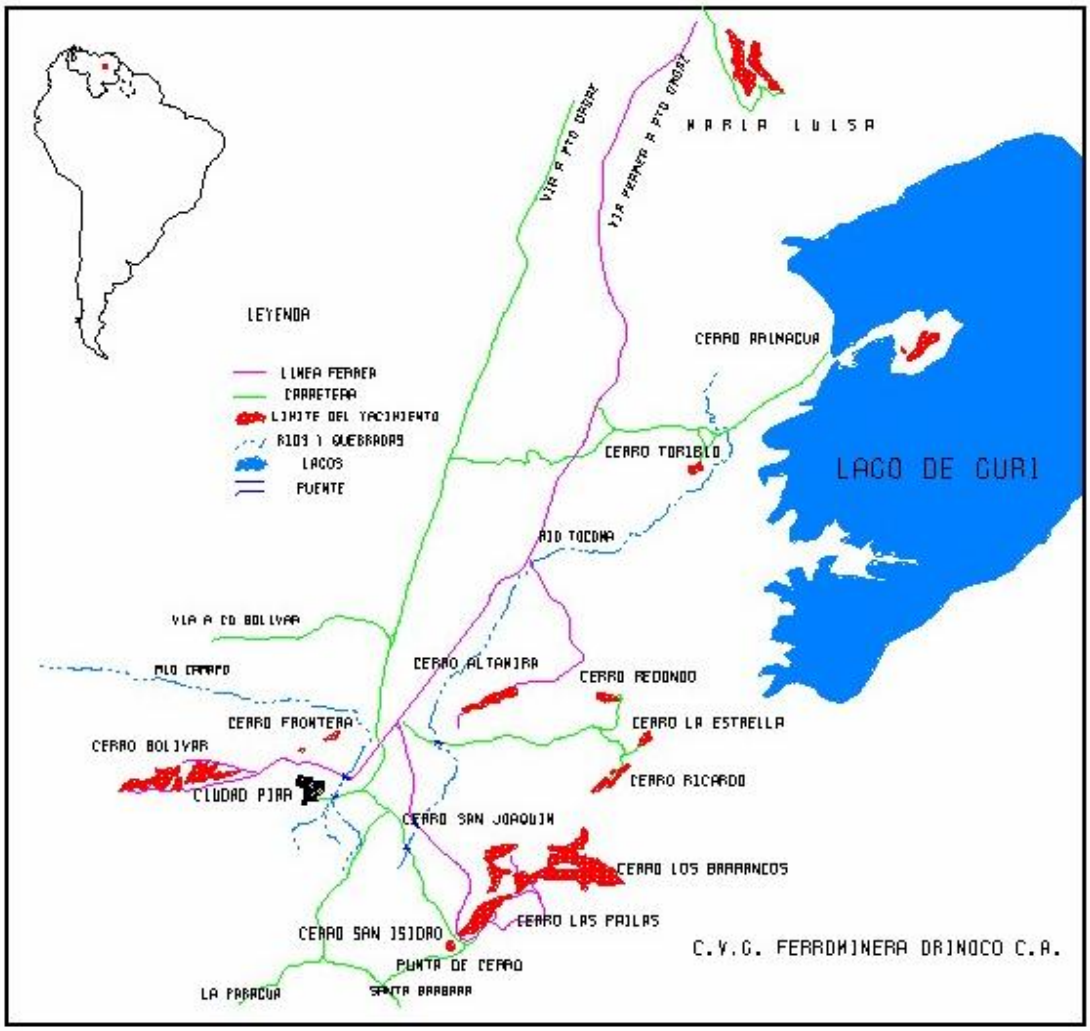


Figura 2.1 Ubicaciónde los yacimientos C.V.G Ferrominera Orinoco,C.A.

afloramientos de formación de hierro entre los cerros Arimagua y el Trueno. En la faja de Santa Rosa se desarrolla un grupo de colinas alargadas y paralelas controladas por gneises cuarzo- feldespático bandeados, con intercalaciones de gneis dioríticoblanco y lentes delgados de formación de hierro. (Figueroa C 2.002).

2.3.2 Vegetación de la zona

La flora se ha clasificado como TropófitoMacrotérmico y Bosque Pluvial. Las regiones montañosas están cubiertas de espesa vegetación, baja en las colinas y densas en los valles. Entre las especies se tienen la Clusia de la familia Guttiferae y el Copey, indicando siempre la presencia de menas ferríferas. (Figueroa C 2.002).

2.3.3 Drenaje de la zona

Los ríos drenan según el rumbo de la foliación y de las formaciones de hierro. Al Norte de la faja del cerro Bolívar, el drenaje está controlado por zonas de debilidad creadas por corrimientos que sirven de contactos a las diferentes fajas de rocas; las vertientes tienen dirección Norte- Sur a N20ºW.

El rio Carapo al Norte del cerro Bolívar está controlado por la foliación noroeste del gneis hasta llegar un poco al Oeste del puente sobre dicho rio, en el antiguo camino de Ciudad Bolívar/La Parida, donde el rio corre a lo largo de la falla Guri/rio Carapo. La captura de los ríos es muy común este zona, la cabecera del rio Carapo originalmente lo fue del rio Tocoma, el cual fue capturado primero a la altura de la silla, del cerro Prado - cerro Altamira. El mismo rio Tocoma era afluente del rio Caroni en el valle al sur del cerro Toribio y fue capturado por un afluente del rio Claro en la silla del cerro Toribio - cerro Jabillal. El Caño Peña Negra, su cabecera y la quebrada de Las Adjuntas fueron capturadas por el rio Araciama en la silla La Estrella - El Carapo. (Figueroa C 2.002).

2.3.4 Clima y precipitación

El clima de la Guayana septentrional puede clasificarse como clima tropical. La temperatura media de la región es de 26,7 ºC (tomada en Ciudad Piar), con un máximo de 33,3 ºC y un mínimo de 18,2 ºC, caracterizado por fuertes y torrenciales lluvias durante el invierno y prolongadas sequias durante el verano. La precipitación media es de 1.905 mm por año (Ciudad Piar). El periodo de lluvia se presenta entre los meses de Mayo y Octubre, con mayor intensidad entre Julio y Agosto y con menor intensidad entre los meses de Octubre y Marzo. (Figueroa C 2.002).

2.3.5 Geomorfología

El área esta conformada por paisajes donde predominan las planicies, lomeríos altos y vegas. Los lomeríos altos están constituidos por rocas graníticas bandeadas y foliada, de textura fanerítica de grano grueso, con colores, grises, rosado, rojo, negro verdoso, etc. Las planicies están representadas por lomas suaves constituidas por gneises, gneises migmatíticos y migmatitas, que abarcan más del 85% del área; mientras que las vegas están formadas por pequeñas morichales ubicados generalmente entre las lomas y constituyen las zonas de menor cobertura.

2.4 Geología regional

El Distrito Ferrifero Piar pertenece a la Provincia Geológica de Imataca, la cual está situada en el extremo Norte de la Guayana Venezolana y se extiende en dirección NE desde el rio Caura hasta el Delta del Orinoco y en dirección NW-SE aflora desde el curso del rio Orinoco hasta la falla de Guri por unos 550 km y 80 km, respectivamente.

Imataca es la provincia del hierro y en ella Ascanio (1965) distinguió, según el tamaño del grano, tres grandes tipos de depósitos de hierro, que son los siguientes:

1. Depósitos de hierro de grano grueso (> 1mm): El Pao, Las Grullas, Piacoa.

2. Depósitos de hierro de grano medio (= 1mm): cerro María Luisa.

3. Depósitos de hierro de grano fino (< 1mm): cerro Bolívar, San Isidro, Los Barrancos, El Trueno, Altamira, Redondo, Toribio, Arimagua (Mendoza V, 2.000).

Kalliokoski (1965) considera a Imataca como el basamento sobre el cual se depositó la unidad Carichapo- Pastora. En la Provincia Geológica de Imataca afloran el Complejo de Imataca, la Migmatita de La Ceiba e intrusiones jóvenes. La figura 2.2 abarca parcialmente la zona de estudio correspondiente a esta provincia.

En general, se considera que la Provincia de Imataca está representada en la actualidad por un conjunto de metasedimentos y gneises graníticos plegados en forma compleja, e intrusiones de granitos posteriores (Mendoza V, 2.000).

Las tendencias estructurales dominantes regionales son N60º-70ºE, más o menos paralelas a la falla de Guri. En realidad registra seis o más dominios tectónicos, separados entre sí por grandes fallas mayores, del tipo corrimiento. El plegamiento es isoclinal, con plegamientos más abiertos. En la parte Norte, los pliegues tienen rumbo NW mientras que en la parte Sur la tendencia dominante de los pliegues es N70º-80ºE (Mendoza, ob. cit).

2.4.1 Litología

Litológicamente la Provincia de Imataca está formada por gneises graníticos y granulitas félsicas (60%-75%), anfibolitas y granulitas máficas, y hasta ultramáficas (15%-20%) y cantidades menores complementarias de formaciones bandeadas de hierro, dolomitas, charnockitas, anortositas y granitos intrusivos más jóvenes (Mendoza, ob.cit).

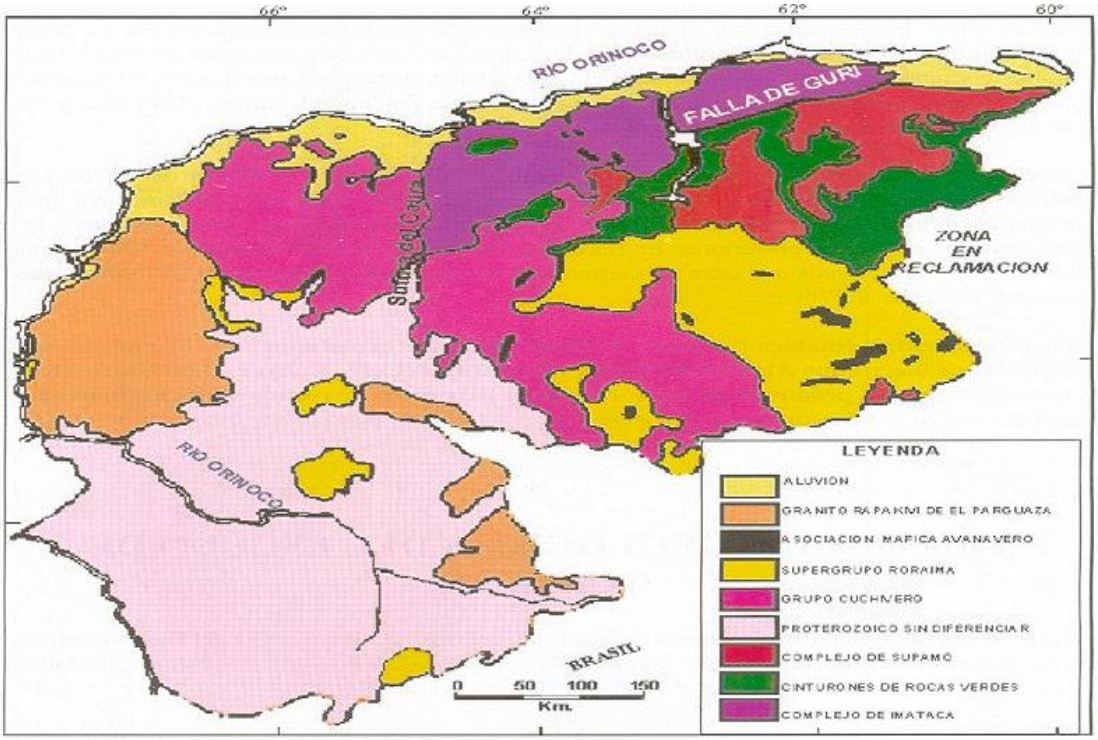


Figura: 2.2 Mapa geológico generalizado del Escudo de Guayana. Mendoza, 2000.

2.4.2 Edad y extensión geográfica

La edad del protolito de Imataca ha sido estimada mediante determinaciones radiométricas por los métodos Rb/Sr y U/Pb roca total, como correspondiente a 3.500-3.600m.a (Mendoza, 2.000).

2.4.3 Suelos

En el Complejo de Imataca los suelos provienen de la meteorización química de la roca del complejo ígneo-metamórfico. Se les denomina suelos residuales y están formados principalmente por arcillas.

2.5 Geología local

El CuadriláteroFerrífero San Isidro, localizado en el Estado Bolívar, aproximadamente 130 km, de Ciudad Guayana, está representado por losdepósitos de mena de hierro Cerro San Isidro, Las Pailas, Los Barrancos y San Joaquín y cubren una extensión de 11 km, largo por 5 km, de ancho.

El cuadrilátero completo puede ser considerado como un solo depósito, no obstante debido al procesamiento de los datos y al hecho de estar separados por cuerpos estériles, ha sido dividido en los depósitos siguientes: San Isidro, Las Pailas, San Joaquín y Los Barrancos I y II.

Los cuerpos de mena afloran en la parte superior de los cerros entre los 430 m. y los 800 m. sobre el nivel del mar; en superficie afloran casi exclusivamente menas duras (costras) en tanto que a mayor profundidad se encuentran diferentes tipos de menas friables (finos) intercalados con las costras; estos finos eventualmente degradan a cuarcita ferruginosas friables y cuarcitas ferruginosas duras hasta alcanzar áreas de lateritas.

La estructura del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro, corresponde al patrón estructural del complejo Imataca; las fallas regionales principales están orientadas N-S, desviaciones locales, generalmente el plegamiento es isoclinal con planos axiales que buzan hacia el sur. (Cordova, ob. cit.).

2.5.1 Cerro las pailas

Este yacimiento es el de menor tamaño del Cuadrilátero, se configura como una cavidad vertical, redondeada, producida por lixiviación o disolución de la sílice, que va percolando y se dispersa a través de las fracturas o grietas. Las Pailas está situado en el centro de gravedad del grupo San Isidro, tiene una altura máxima de 700 metros sobre el nivel del mar.Los elementos de foliación tienen dirección N-S que corresponden a la de todo el grupo; las fallas y fracturas tienen rumbo N 60º W y a pesar de constituir un sinclinal metido entre otras estructuras mayores de Los Barrancos, San Isidro y San Joaquín, ha mantenido una posición elevada al resistir la erosión. Esto se debe a una serie de pliegues repetitivos menores que yacen hacia el centro de la estructura mayor, lo cual influye en un menor lixiviado de la protomena produciendo alternancia de espesores de mena de alto tenor con menas de bajo tenor en ángulos de moderado a alto (Gamarra, 2005)

Las Pailas no solo está en el centro de gravedad, sino que sirve de enlace de todos los yacimientos del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro. Su ramal noroeste se prolonga y penetra en San Joaquín y el ramal suroeste en San Isidro, tales ramales se considera como un anticlinal erosionado en su sección central, y al Este está conectado a Los Barrancos.

2.5.2 Cerro los barrancos

Se ubica a una distancia aproximada de 12 Km, de Santa Bárbara – Ciudad Piar, de Ciudad Guayana se encuentra a 140 Km, y de Ciudad Bolívar 115 Km, aproximados. Se presenta como un Anticlinal de doble buzamiento y deprimido en su parte central.

Es el yacimiento de mayor extensión 3 Km en dirección E-O, con alturas variables. Debido a la gran extensión topográfica irregular y diferentes estructuras este se dividido en 5 zonas (A, B, C, D Y E). Las zonas A y B forman parte de Los Barrancos I, y la zona C, D, y E a Los Barrancos II.

2.6 Clasificación litológica

La clasificación de los tipos litológicos de mena de hierro se basa en dos grupos principales: menas duras denominadas costras y menas blandas o friables denominadas finos, éstas a su vez se subdividen en base a sus características físicas, químicas y texturales en diferentes subtipos. Dentro de esta clasificación se diferencian también las menas de bajo tenor, cuyo porcentaje de hierro es menor a 55%, también se puede encontrar el estéril constituidos por materiales no ferrosos. (Delgado C, 1992). Los tipos litológicos más frecuentes son los que a continuación se presentan:

2.6.1 Menas de alto tenor

Son menas cuyo porcentaje de hierro es mayor del 55%.

2.6.1.1 Menas duras

Se agrupan bajo el término de costras; suelen presentarse en las zonas superficiales del yacimiento a manera de casquete recubriendo las bolsadas de finos, aunque ocurren también interestraficadas con los finos a profundidad. Entre los subtipos más frecuentes se encuentran:

- ✓ **Costra hematítica (Vh)**: Compuesta principalmente por hematina especular. Su composición química es bastante semejante a la de los finos negros,

diferenciándose de estos por presentar un mayor contenido de alúmina, sílice y pérdida por ignición. Las costras hematíticas van desde homogeneas y con cristales desarrollados los cuales pudieran ser agregados de hematina primaria, hasta finamente laminadas y bandeadas. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Costra limonítica (Vy):** Está constituida por proporciones variables de hematita, goetita y limonita como constituyentes mayoritarios. En proporciones muy pequeñas de un orden menor al 5% se encuentran mineralescomo el cuarzo, caolinita, gibsita y otros. Químicamente presentan un aumento en el contenido de alúmina, pérdida por ignición y fósforo. Característicamente se desarrollan encima de los finos marrones muy hidratados. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Costra goetítica (Vg):** Goetitamicrocristalina o amorfa, masiva, dura y frágil, de color pardo o negro y de brillo mate o adamantino. Mineralogicamente estas goetitas son bastantes puras, en pequeñas cantidades se presenta limonita cementando cristales de goetita y cuarzo. Presentan un alto contenido de fósforo y el contenido de alúmina se eleva en éstas, posiblemente por la presencia de hidróxidos de aluminio (gibsita). Los minerales distintos a los óxidos e hidróxidos de hierro están en un porcentaje inferior al 5% aproximadamente. Se les considera como depósitos de suspensiones coloidales de hidróxidos de hierro, en fracturas abiertas o cavidades de las menas. Tenor aproximado: 60% Fe Seco. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Costra masiva (V):** Compuestas por proporciones variables de goetita, limonita y hematita. Por lo general, muestra textura porosa, contiene fragmentos de otras menas y no presenta laminación remanente. Corresponde a un proceso avanzado de meteorización superficial con precipitación intensa e hidróxidos de hierro coloidales y relleno parcial del espacio poroso. Suelen recubrir las bolsadas de finos con alta proporción de bandas de limonita amarilla. El tenor en Fe Seco oscila alrededor del 62%. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Costra laminada (Vp):** Compuesta por proporciones variables de hematita, goetita y limonita distribuidas en láminas alternadas de poco espesor a veces frágiles y desmenuzables. De acuerdo a la mineralogía predominante presente en la costra laminada, puede ser definida como: costra hematítica laminada, costra goetítica laminada o costra limonítica laminada. Alcanza tenores de hasta 67% de Fe Seco. Típicamente se desarrolla en los flancos superiores de los yacimientos cerca del contacto con cuarcita ferruginosa. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Costra silícea (Vs):** Presenta megascópicamentegranos de cuazo remanente de las cuarcitas ferruginosas. Contienen de 2 a 6% de sílice. Puede presentar tanto textura masiva como laminada. Por lo general recubren menas silíceas deleznables o cuarcitas ferruginosas frescas o meteorizadas. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Canga (C)**

Son costra sílicos-alumínicasformadas en las pendientes, plataformas y ensenadas adyacentes a menas de costra de alto tenor, por cementación de hidróxidos de fragmentos desprendidos y concentrados por efectos mecánicos. Su tenor alcanza 56% de Fe Seco. (Delgado C, 1992).

COSTRA HEMATITICA (Vh) **COSTRA LIMONITICA (Vy)** **COSTRA GOETITICA (Vg)**

COSTRA LAMINADA (Vp) **COSTRA MASIVA (V)**

Figura 2.3 Menas Duras

2.6.1.2 Menas blandas

Se agrupan bajo el término de finos, tienen aspecto de arena suelta, son moderadamente hidratadas, con porosidad alta, frecuentemente se presentan finamente laminadas denominándose finos laminados. Suelen ocurrir en grandesmasas debajo de las menas duras o interestraficadas con ellas, formando bolsadas que se estrechan en profundidad. (Delgado C, 1992). Los subtipos son:

- ✓ **Finos negros (B):** Mineralógicamente están constituidos por hematita y martita (Como producto de alteración de la magnetita); en una proporción muy pequeña en el orden 2-3% se presenta goetita, pequeñas cantidades de cuarzo, así

como pequeños gránulos arcillosos. Presenta un color gris acerado o negro. Alcanza tenores de hasta 69% de Fe Seco. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Finos marrones (F):** Presentan una pequeña variación química con respecto a los finos negros, traducida en un aumento en el contenido de alúmina y de pérdida por ignición que se debe a un incremento en el contenido de goetita y minerales alumínicos. Tienen un color marrón claro a marrón oscuro. Suelen encontrarse en el yacimiento por encima de los finos negros e infrayacentes a las costras superficiales. A su vez tanto los finos negros como los marrones se subdividen de acuerdo al contenido de sílice en finos silíceos. Estos son semejantes a los finos simples, pero con mayor proporción de sílice remanente, que va en los finos silíceos de 2 a 6% y en los finos muy silíceos es mayor a los 6%, limitados a un contenido de Fe Seco mayor al 55%. En el yacimiento suelen ocurrir contactos directos con la cuarcita ferruginosa. (Delgado C, 1992).

- ✓ **Limonita amarilla (Y):** Constituida mayormente por limonita férrea, blanda, porosa, de color ocre amarillo, y en menor proporción por minerales de arcilla. Mineralógicamente están formadas por goetitacripto-cristalina y agua capilar o de absorción. Se considera como el producto meteorizado de formaciones ferríferas muy ricas en ferrosilicatos. Se caracteriza por alto contenido de agua de cristalización (+) 8% y tenor de 56% a 60% de Fe Seco. (Delgado C, 1992).

Finos Negros (B)Finos Marrones (F) Limonita (Y)

Figura 2.4 Menas Blandas

2.6.2 Menas de bajo tenor

Son menas cuyo porcentaje de hierro es menor del 55%.

2.6.2.1 Cuarcita ferruginosa friable

Cuarcita ferruginosa parcialmente lixiviada por remoción incipiente de sílice: según el grado de meteorización su tenor oscila entre 45% a un 55% de Fe Seco. En profundidad pasa a cuarcita ferruginosa dura o se encuentra en contacto directo con la laterita. Mineralógicamente se compone por granos de hematita, martita, algo de goetita y la ganga es principalmente cuarzo. (Delgado C, 1992).

2.6.2.2 Cuarcita ferruginosa dura

Constituye la roca primaria fresca a partir de la cual se originan las menas de hierro. Es de color gris a gris oscuro, presenta estructura bandeada bien definidas con espesores de bandas que van desde 0.5mm a varios centímetros, con granos minerales uniformemente diseminados, otras presentan estructuras ojosas con lentejones irregulares de cuarzo y óxido de hierro como resultante de intensa reorganización metamórfica, en otras partes las cuarcitas son macizas, sin esquistosidad ni bandeamientodefinido. Las cuarcitas ferruginosas presentan la siguiente mineralogía: magnetita, hematita, poca goetita y en proporciones menores: mica, anfíbol, calcita y apatito. (Delgado C, 1992).

CUARCITA FERRUGINOSA DURA (IF) **CUARCITA FERRUGINOSA FRIABLE (IFf)**

Figura 2.5 Menas de Bajo Tenor.

2.6.3 Estéril

Este material está constituido por: laterita, gneis y anfibolita.

2.6.3.1 Laterita

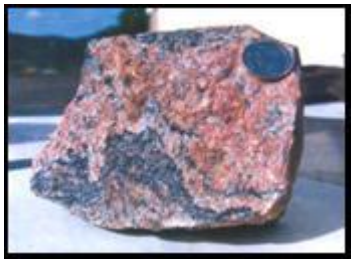
Son productos residuales resultantes de la meteorización profunda de gneises, esquistos y rocas intrusitas adyacentes o intercaladas con las cuarcitas ferruginosas y menas de hierro. Presenta un color blanco, rosado o pardo y estructura bandeada remanente de la foliación de las rocas primarias. Su alto contenido en sílice (30%), alúmina (30%) y bajo contenido de hierro (10% a 15%) la clasifican como material estéril. Ocurren principalmente en los flancos de los yacimientos. (Delgado C, 1992).

2.6.3.2 Gneis

Roca perteneciente al grupo de los granitoides, de composición cuarzo feldespática biotítica con microclino, de grano medio a grueso y bandeamiento bien desarrollado. (Delgado C, 1992).

2.6.3.3 Anfibolita

Roca metamórfica de textura más o menos esquistosa y granulada, compuesta principalmente de anfíbol. Se origina de determinadas rocas ígneas ysedimentarias por las condiciones de presión y temperaturas propias del metamorfismo regional. (Delgado C, 1992).



LATERITA (L) GNEIS

Figura 2.6 Material Estéril

CAPITULO III
MARCO TEORICO

3.1 Ciclo del agua

El ciclo del agua, también conocido como ciclo hidrológico, describe el movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta Tierra. El agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo, y los procesos pueden ocurrir en cuestión de segundos o en millones de años. Aunque el equilibrio del agua en la Tierra permanece relativamente constante con el tiempo, las moléculas de agua individuales pueden circular muy rápido.

El sol dirige el ciclo calentando el agua de los océanos. Parte de esta agua se evapora en vapor de agua. El hielo y la nieve pueden sublimar directamente en vapor de agua. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmósfera, junto con el agua de evapotranspiración, que es el agua procedente de las plantas y la evaporación del suelo. El vapor se eleva en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que se condense en nubes. Las corrientes de aire mueven las nubes alrededor del globo. Las partículas de las nubes chocan, crecen y caen del cielo como precipitación. Algunas caen como precipitaciones de nieve y pueden acumularse como casquetes polares y glaciares, que almacenan el agua congelada durante miles de años. En climas más cálidos, los bloques de nieve a menudo se descongelan y se derriten cuando llega la primavera, y el agua derretida fluye por la tierra. La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde, debido a la gravedad, fluye sobre la superficie. Una parte de ese agua entra en los ríos a través de valles en el paisaje, y la corriente mueve el agua hacia los océanos. El agua filtrada pasa a las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. No toda el agua fluye por los ríos. La mayor parte de ella empapa la tierra

como infiltración. Un poco de agua se infiltra profundamente en la tierra y rellena acuíferos (roca subsuperficial saturada), que almacenan cantidades enormes de agua dulce durante períodos largos del tiempo. Algunas infiltraciones permanecen cerca de la superficie de la tierra y pueden emerger, acabando como agua superficial (y oceánica). Algunas aguas subterráneas encuentran grietas en la tierra y emergen. Con el tiempo, el agua sigue fluyendo, para entrar de nuevo en el océano, donde el ciclo se renueva.

3.1.1 Precipitación

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad.

La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo. La virga es la precipitación que comienza a caer a la tierra pero que se evapora antes de alcanzar la superficie.

La precipitación es un componente principal del ciclo hidrológico, y es responsable de depositar la mayor parte del agua dulce en el planeta. Aproximadamente 505000 km^3 de agua caen como precipitación cada año, y de ellos 398000 km^3 caen sobre los océanos. Dada el área superficial de la Tierra, eso significa que la precipitación anual promediada globalmente es más o menos de 1 m, y la precipitación anual media sobre los océanos de 1.1 m.

3.1.1.1 Tipos de precipitación

La precipitación se divide en tres categorías:

- ✓ Precipitación liquida: llovizna, lluvia.
- ✓ Precipitación glacial: llovizna congelada, lluvia congelada (aguanieve).
- ✓ Precipitación congelada: nieve, bolitas de nieve, granos de nieve, bolitas de hielo (aguanieve), granizo o copos de nieve, cristales de hielo.

3.1.1.2 Cómo se satura el aire

El aire contiene humedad, medida en gramos de agua por kilogramo de aire seco (g/kg), aunque es común expresarla como porcentaje de humedad relativa. La humedad que un volumen de aire puede mantener antes de que se sature (humedad relativa del 100%) depende de su temperatura. El aire cálido tiene una capacidad mayor para mantener la humedad que el aire frío. A causa de esta propiedad del aire, un modo de saturar un volumen de aire es refrescarlo. El punto de rocío es la temperatura a la que un volumen de aire tiene que enfriarse para que se produzca su saturación.

Algunos mecanismos de enfriamiento del aire incluyen:

✓ Elevación (convectiva, mecánica, advección de vorticidad positiva): *Enfriamiento conductivo* (el aire cálido se mueve sobre una superficie fría) *Enfriamiento radiacional* (el calor se irradia hacia el espacio por la noche) *Enfriamiento evaporativo* (la temperatura del aire baja cuando el agua líquida usa la energía para cambiar a fase de vapor).

El otro modo de saturar el aire es añadirle humedad, mediante:

✓ Precipitación que cae desde arriba (estrato que forma lluvia bajo una nube más alta)

- ✓ El calor del agua que, de día, se evapora de la superficie de océanos y lagos.
- ✓ Aire más seco que se mueve sobre aguas abiertas (corrientes de nieve en los Grandes Lagos en invierno).

3.1.1.3 Cómo se forma la precipitación

✓ Condensación: La precipitación comienza a formarse cuando asciende el aire cálido y húmedo. Al enfriarse el aire, el vapor de agua comienza a condensarse en núcleos de condensación, formando nubes. Después de que las gotitas de agua se ponen lo bastante grandes, pueden ocurrir los siguientes dos procesos.

✓ Coalescencia (fusión): La coalescencia ocurre cuando las gotitas de agua se funden para crear otras gotitas más grandes, o cuando las gotitas se congelan en un cristal de hielo. La resistencia del aire hace que las gotitas de agua en una nube permanezcan inmóviles. Cuando se produce una turbulencia del aire, las gotitas de agua chocan, produciendo gotitas más grandes. Cuando estas gotitas descienden, la fusión continua, de modo que las gotas se hacen lo bastante pesadas como para vencer la resistencia del aire y caer como lluvia. La coalecescencia sucede más a menudo pasa en nubes por encima de la congelación.

✓ Proceso de Bergeron: El proceso de Bergeron ocurre cuando los cristales de hielo adquieren moléculas de agua de las gotitas de agua superfrías cercanas. Cuando estos cristales de hielo ganan bastante masa, comienzan a caer. Esto generalmente requiere más masa que la fusión entre el cristal y las gotitas de agua vecinas. Este proceso es dependiente de la temperatura, ya que las gotitas de agua superfrías sólo existen en una nube por debajo de la congelación. Además, debido a la gran diferencia de temperaturas entre la nube y el nivel de tierra, estos cristales de hielo pueden derretirse cuando caen y convertirse en lluvia.

3.1.1.4 Formas de precipitación

✓ Actividad frontal: La precipitación estratiforme o dinámica ocurre como consecuencia del ascenso lento del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos, y antes de los frentes cálidos. Un ascenso similar se observa alrededor de los ciclones tropicales fuera del ojo, y en modelos de precipitación con cabeza de coma alrededor de los ciclones de latitud media.

✓ Convección: La lluvia convectiva proviene de nubes convectivas, como los cumulonimbos o cúmulos congestus. Cae como chaparrones con una intensidad que varía rápidamente. La precipitación convectiva cae en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada. La mayor parte de la precipitación en zonas tropicales parece ser convectiva; sin embargo, se ha sugerido que también se da la precipitación estratiforme. Los copos de nieve y el granizo siempre indican convección. A latitudes medias, la precipitación convectiva tiene relación con los frentes fríos (a menudo detrás del frente), las líneas de chubascos y los frentes cálidos con una significativa humedad disponible.

✓ Efectos orográficos: La precipitación orográfica ocurre en el lado de barlovento de las montañas y está causada por el movimiento de ascendente de un flujo de aire húmedo a través de la montaña, que provoca la refrigeración adiabática y la condensación.

En las zonas montañosas del mundo, sujetas a vientos relativamente consistentes (por ejemplo, los vientos alisios), prevalece un clima más húmedo por lo general en el lado de barlovento de la montaña que en el lado de sotavento. La humedad es eliminada por el ascenso orográfico, dejando el aire más seco en la bajada (generalmente calentándose), y una sombra de lluvias al lado de sotavento. La precipitación orográfica es bien conocida en las islas oceánicas, como por ejemplo las Islas Hawaianas, donde la mayor parte de la precipitación queda en el lado de

barlovento, mientras que el lado de sotavento tiende a ser completamente seco (casi parecido a un desierto). Este fenómeno causa sustanciales declives locales en la precipitación media; en las áreas costeras caen entre 500 y 750 mm por año (20 a 30 pulgadas), mientras que en los altiplanos interiores caen 2.5 m por año (100 pulgadas).

En Sudamérica, la sierra de Los Andes bloquea la mayor parte de la humedad Atlántica que llega a aquel continente, causando un clima parecido a un desierto en la costa pacífica de Perú y norte de Chile, ya que la fría Corriente de Humboldt asegura que el aire del Océano Pacífico sea seco también. En el lado de sotavento de Los Andes está el Desierto de Atacama, en Chile. También está bloqueado de la humedad por las montañas a su oeste. No es de extrañar que este sea el lugar más seco de la tierra. La Sierra Nevada crea el mismo efecto en Norteamérica, formando el desierto Great Basin, el desierto de Mojave y el de Sonora.

- ✓ Actividad tropical: La actividad tropical, en general, consiste en grandes masas de aire de varios cientos de millas con la presión baja en el centro y con vientos que soplan alrededor del centro en cualquier dirección en el sentido de las agujas del reloj (hemisferio sur) o contrario a las agujas del reloj (hemisferio norte). La precipitación surge cuando un frente cálido se forma debido a una masa progresiva de aire cálido que sube por una superficie inclinada de aire frío que se retira, y es enfriada en el proceso de elevación causando la precipitación.

El Gran Desierto Arenoso obtiene casi toda su lluvia durante las tormentas monzónicas o la depresión lluviosa de algún ciclón tropical ocasional. Las tormentas ocurren en un promedio de 20-30 días anualmente en la mayor parte del área. Aunque el desierto tenga tasas de precipitación bastante altas, debido a que también hay una alta tasa de evaporación, esta área permanece con un ambiente árido y áreas enormes de arena.

Otras áreas del mundo donde se producen estos raros acontecimientos de precipitación son el noroeste de México, el sudoeste de los Estados Unidos y el sudoeste de Asia. En Norteamérica, los desiertos de Chihuahua y Sonora han recibido algo de precipitación tropical en los últimos diez años. La actividad tropical es rara en todos los desiertos, pero la poca lluvia que cae es importante para la existencia del ecosistema.

3.1.1.5 Características de la precipitación

✓ Tamaño y forma: Las gotas de lluvia tienen tamaños en los límites de 0.1 mm hasta los 9 mm de diámetro, y por encima de ese tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube, y su forma es esférica. Cuando una gota de lluvia aumenta de tamaño, su forma se hace más redondeada, con un corte transversal más grande**.**

✓ Intensidad y duración. La intensidad y duración de la precipitación están, por lo general, inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

✓ Intensidad y área: Sobre un área grande la precipitación suele ser menos intensa que sobre un área pequeña.

✓ Tamaño de gota e intensidad: Las tormentas de intensidad alta tienen un tamaño de gota más grande que las tormentas de intensidad baja.

3.1.1.6 Medida de la precipitación

El método estándar de medir la lluvia o nevada es un pluviómetro estándar, que puede ser de plástico o metal, y de entre 100 mm y 200 mm. El cilindro interior se

llena con 25 mm de lluvia, que al desbordar fluye en el cilindro externo. Los calibradores plásticos tienen marcas en el cilindro interior con una resolución de 0.25 mm, mientras que los calibradores metálicos requieren el uso de un palo diseñado con marcas de 0.25 mm. Estos calibradores se adaptan para el invierno quitando el embudo y el cilindro interior y permitiendo que la lluvia de nieve entre en el cilindro externo. Una vez que la nevada o hielo termina de acumularse, o cuando se acerca a 300 mm, se retira para que se derrita, o se usa agua caliente para llenar el cilindro interior a fin de derretir la precipitación congelada en el cilindro externo, guardando la cantidad de fluido caliente añadido, que luego se resta del total general una vez que todo el hielo o nieve se ha derretido.

Otros tipos de calibradores incluyen el pluviómetro de cuña (el pluviómetro más barato y más frágil), el pluviómetro de cubeta basculante y el pluviómetro pesado. Los pluviómetros de cuña y de cubeta basculante tienen problemas con la nieve. Las tentativas de compensar la nieve o hielo calentando la cuña basculante tienen un éxito limitado, ya que la nieve puede sublimar si el calibrador se guarda por encima de la temperatura de congelación. Los pluviómetros pesados con anticongelante son más apropiados para la nieve, pero hay que quitarles el embudo antes de que comience la precipitación. Para quienes quieren medir la precipitación de una forma casera y económica, es posible hacerlo con una lata cilíndrica con lados rectos, pero su exactitud dependerá de la regla que se use para medir la lluvia. Cualquiera de los pluviómetros mencionados puede ser construido en casa.

Hay varias redes de mediciones de precipitación repartidas por todo el mundo, que comparten sus datos a través de Internet o de oficinas meteorológicas locales. Los datos de precipitación son importantes para pronosticar los flujos de los ríos y la calidad del agua del río, usando modelos de transporte hidrológicos como SWMM, SHE o el modelo DSSAM.

- ✓ Pluviómetro: es un aparato que tradicionalmente sirve para medir la precipitación propiamente dicha. Tiene cerca de tres centurias de antigüedad y a pesar de lo rudimentario que es, aún no ha sido reemplazado y es de esperar que utilice todavía por largo tiempo. En esencia, consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (colector), entre éstos por lo general existe un embudo; luego el agua puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada.

La boca, generalmente su borde está hecho de material resistente a la intemperie y suele consistir en un anillo biselado y cortante, de latón o bronce, por ser materiales suficientemente rígidos, como para que la superficie receptora se mantenga constante e inalterable a la intemperie para que no se deforme o corroa; su finalidad es evitar salpicaduras y que la gota que cae en el borde quede partida, yendo dentro sólo la parte interceptada por la boca.

El colector, tiene una cámara de aire alrededor para evitar que se caliente el agua recogida y disminuir la evaporación; este debe tener poco contacto con el aire exterior.

El embudo, sirve para canalizar el agua hacia el colector y simultáneamente lo tapa, evitando que la lluvia colectada se evapore; entre el anillo biselado de la boca y el embudo queda un cilindro de paredes verticales cuya altura puede llegar a ser igual al diámetro de la boca, aunque en muchos modelos es menor. Este cilindro puede considerarse que forma parte del embudo, inclusive algunas veces se identifica al anillo de la boca, como borde del embudo. La sección del anillo debe ser tal que su pared interior sea vertical y la exterior en pendiente no exagerada hacia afuera.

En muchos modelos de pluviómetros se hace la lectura de la precipitación vertiendo el agua recogida por el colector en un recipiente o tubo graduado llamado

probeta, y leyendo directamente sobre ella las unidades de altura de precipitación por el nivel que alcanza el agua. (Figura 3.1).

El pluviómetro ha sido diseñado para también estar soportado sobre la superficie de la tierra; normalmente la lectura se realiza cada 22 horas y un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de un milímetro. Para la medida de nieve se considera que el espesor de nieve equivale aproximadamente a diez veces el equivalente de agua.

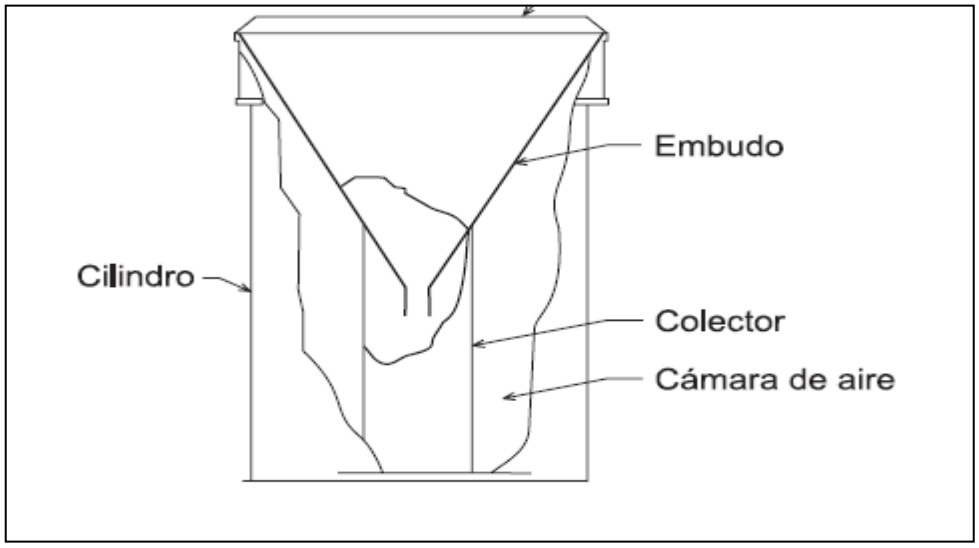


Figura 3.1 Pluviómetro ordinario

Existen muy diversos tipos de pluviómetros: norteamericano, español, alemán, francés, belga, inglés, canadiense, etc. En principio, todos éstos son un mismo pluviómetro, lo que varía es la altura de la boca del aparato sobre el suelo, la situación del colector sobre tierra o bajo tierra, la forma de hacer la lectura, etcétera.

Tipo norteamericano: es un pluviómetro común y corriente, donde la altura de la boca sobre el suelo es de 762 mm. La medición se hace con una regla fina de acero que se introduce por la boca del pluviómetro, en el depósito colector, el cual a su vez tiene una sección que es 1/10 de la sección de la boca del colector o superficie receptora. El embudo se encuentra a 1/4 de diámetro de la boca y el colector tiene su base prácticamente al nivel del suelo del pluviómetro. Cuando se desborda el colector, si la cantidad de precipitación es superior a su capacidad, el agua desbordada queda en la armadura del pluviómetro y se mide vertiéndola en el colector y tomando en éste la altura con la regla. La armadura está montada sobre un trípode de hierro. (Figura 3.2).

Tipo español y alemán (Hellmann: en este la superficie receptora es de 200 cm^2, de manera que a 1 mm de lluvia corresponden 20 cm^3 de agua recogida.

Las características más importantes respecto a su instalación son: que la boca del pluviómetro se encuentra a 1.50 m del suelo, que va sujeto por un soporte lateral a un poste cuyo extremo superior está cortado en bisel y que es fácilmente desmontable del soporte para hacer la lectura (Figura 3.3).

*Pluviómetros tropicales:*son aparatos análogos a los anteriores pero con el depósito colector bastante mayor para poder medir lluvias hasta de 500 mm. Por ejemplo, en el caso de un modelo *Hellmann*, para medir esa cantidad de lluvia se tendría que contar con un depósito de una capacidad de 500 mm x 200 cm^2 = 10 000 cm^3 = 10 dm^3 = 10 litros.

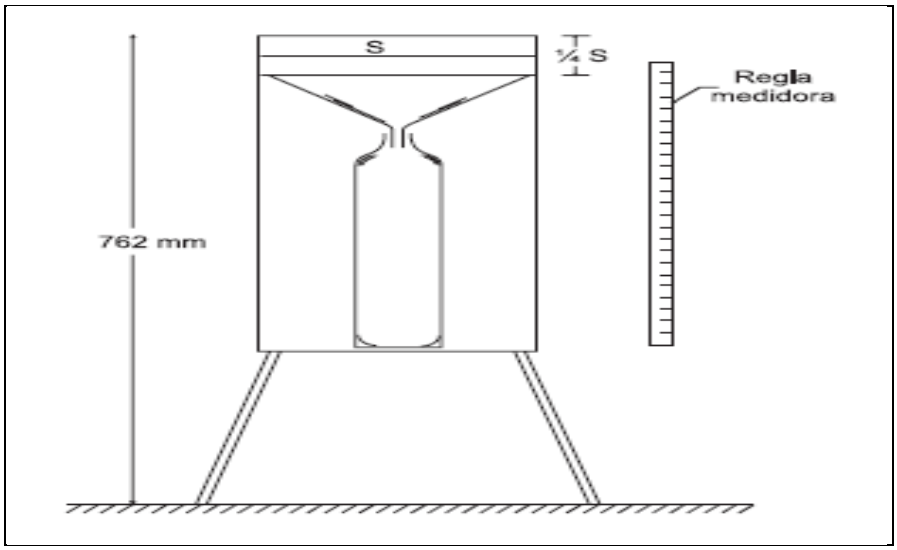


Figura 3.2 Pluviómetro tipo Norteamericano

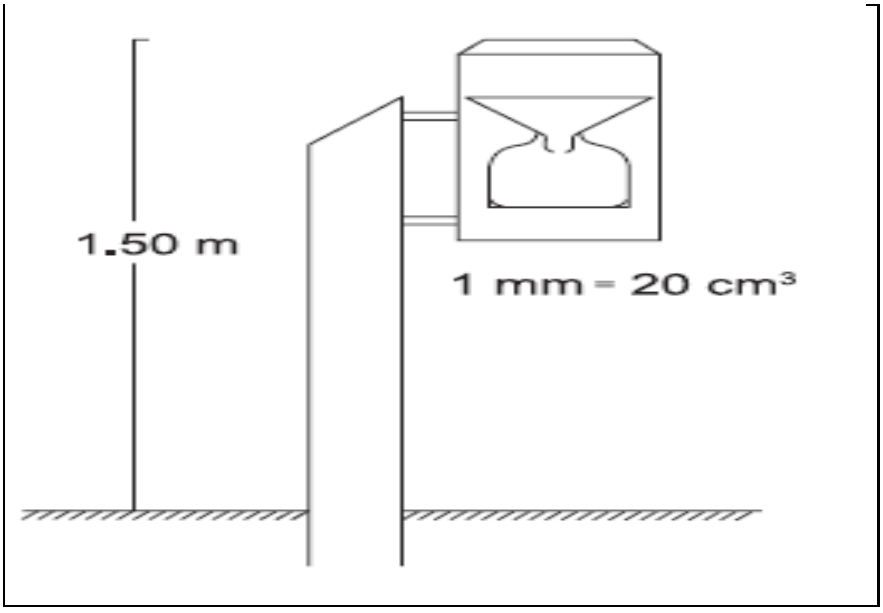


Figura 3.3 Pluviómetro tipo Hellmann

Nivómetros: estos aparatos se miden la nieve precipitada. Son necesarios cuando la cantidad de nieve es considerable y su fusión es más difícil. Son los mismos pluviómetros anteriores con algunas modificaciones. La más común es la supresión del embudo para aumentar su capacidad, y la colocación en el interior de dos tabiques verticales que se cortan normalmente a lo largo del eje del cilindro, esto evita que los remolinos del viento saquen la nieve recogida. Para facilitar la fusión de la nieve dentro del cilindro se pone cloruro de calcio anhídrido, también se puede fundir añadiendo agua caliente. En ambos casos se descuenta de la cantidad de agua medida la substancia utilizada para fundir la nieve.

Otra técnica para medir la altura de la nieve consiste en emplear un cilindro hueco que se introduce verticalmente en ésta y después se cierra por debajo, sacándolo y fundiendo la nieve recogida. También se puede introducir verticalmente en la nieve una regla graduada y dividir entre diez la altura nevada, dando así los milímetros de agua equivalente. Para ambos procedimientos hay que escoger un lugar donde no se hayan producido acumulaciones o merma, ya sea por el viento o por deslizamiento.

Un método particularmente útil en las montañas inaccesibles para conocer las reservas de nieve que hay antes de iniciarse su fusión, consiste en colocar barras graduadas fijas en el suelo en sitios horizontales convenientemente protegidos del viento. Estas barras son bastante altas y con marcas que semejan peldaños de escalera de caracol que se pueden fotografiar desde un avión para conocer así el espesor de la nieve.

Cuando se han hecho medidas en diversos lugares se saca la media aritmética. El hecho de que haya dos o más capas de nieve superpuestas y el que ésta se hiele dificulta las mediciones.

Existen nivómetros radiactivos, basados en el amortiguamiento que experimenta la intensidad de la radiación de un foco emisor al atravesar un cierto espesor de substancia, en este caso nieve, amortiguamiento que es proporcional a dicho espesor. El foco emisor suele estar constituido por una pequeña cantidad de material radiactivo encerrado en una cápsula de plomo de gruesas paredes con una abertura en su porción superior. (Figura 3.4).

Dicha cápsula queda alojada en el suelo y sobre su vertical, en el eje del haz de radiación, a suficiente distancia va un contador Geiger-Miller que registra la intensidad de radiación que llega hasta él, y puede emitir a su vez este registro.

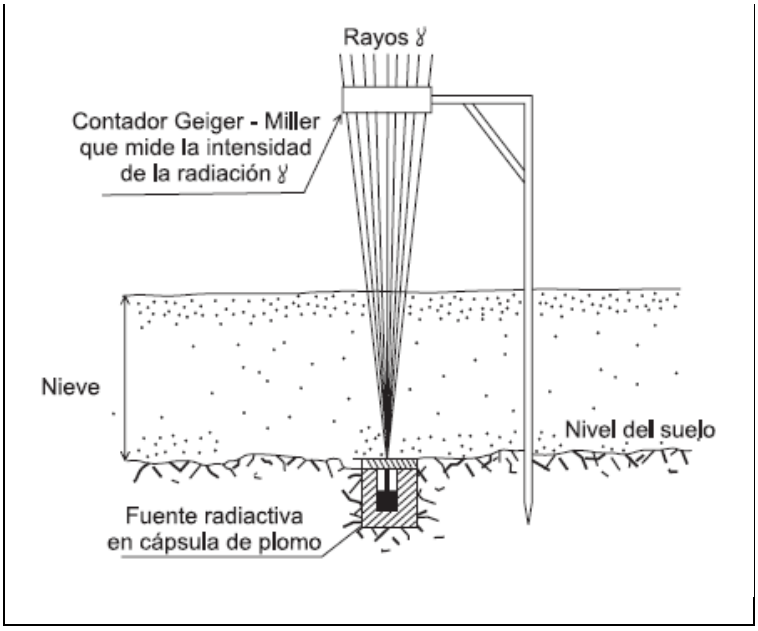


Figura 3.4 Nivómetro radioactivo

Totalizadores, tienen por objeto obtener en una sola medida la precipitación total caída en un cierto punto durante un largo período (un año hidrológico, un verano, un período de lluvias, etc.); existen diversos modelos que comúnmente

coinciden en sus detalles generales de construcción y funcionamiento. Se instalan en lugares que sólo pueden visitarse con escasa frecuencia, normalmente una vez al año.

Uno de los variados tipos de totalizadores consta de un depósito de zinc de aproximadamente 150 litros de capacidad con boca de 200 cm^2 de sección, para recoger precipitaciones hasta de 7 500 mm. La boca está provista de un aro de latón de borde cortante. En el fondo lleva un tapón de rosca o un grifo. El depósito va metido en otro de chapa galvanizada que cumple las siguientes misiones: a) soportar el depósito interior, b) el espacio entre ambos actúa como cámara de aire, evitando el enfriamiento o calentamiento exagerado del interior, y c) sirve a éste de protección.

El fondo del depósito exterior se cierra con un tapón de rosca similar al del depósito interior o con una tapa que se puede fijar con un candado. El peso del totalizador descansa sobre unas barras que van enterradas en el suelo. La boca se sitúa a 2.50 m sobre el suelo. En el interior se coloca aceite líquido de vaselina o parafina que al flotar sobre el agua evita la evaporación, y cloruro de calcio anhídrido para fundir la nieve. El aceite se puede recuperar por decantación y el cloruro de calcio por evaporación del agua. (Figura 3.5).

Pluviógrafos: aparatos destinados a medir la distribución de la lluvia en el tiempo en un determinado lugar. Con ellos se conoce la cantidad de lluvia a través del tiempo y también su intensidad. Hay cinco clases o tipos fundamentales: de flotador sin sifón automático, de flotador con sifón automático, de balanza, de oscilación, combinación de balanza y oscilación.

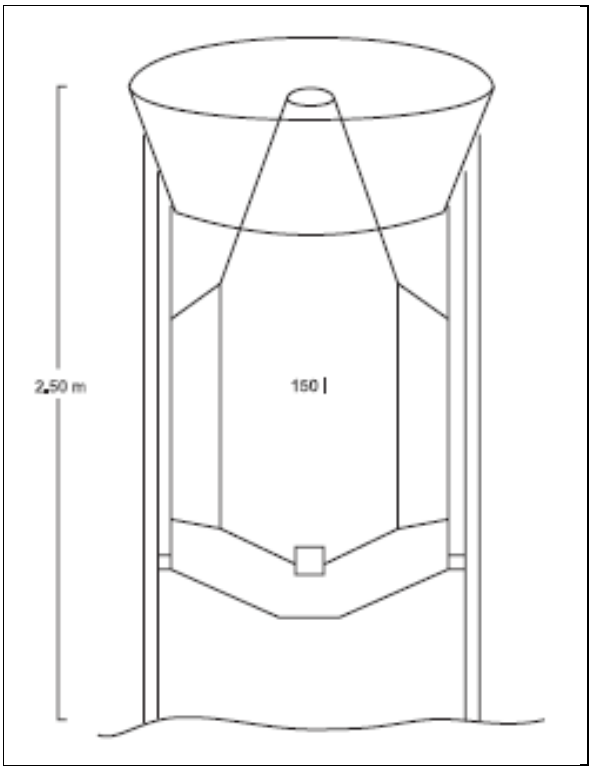


Figura 3.5 Totalizador de montaña

Pluviógrafo de flotador sin sifón automático: en este el flotador tiene un vástago vertical provisto de salientes a intervalos iguales; se apoya un brazo que sujeta la plumilla y está unido a un eje horizontal por el otro extremo, este brazo lleva un dispositivo tal, que cuando la plumilla llega a la parte superior de la banda cae al de abajo. El depósito se vacía con un sifón que se carga dándole unimpulso al flotador o añadiendo agua para cebarlo. Tiene como ventajas la sencillez y la falta de error acumulativo. Su inconveniente, como el de todos los pluviógrafos de flotador, es que éste puede ser dañado por las heladas. (Figura 3. 6).

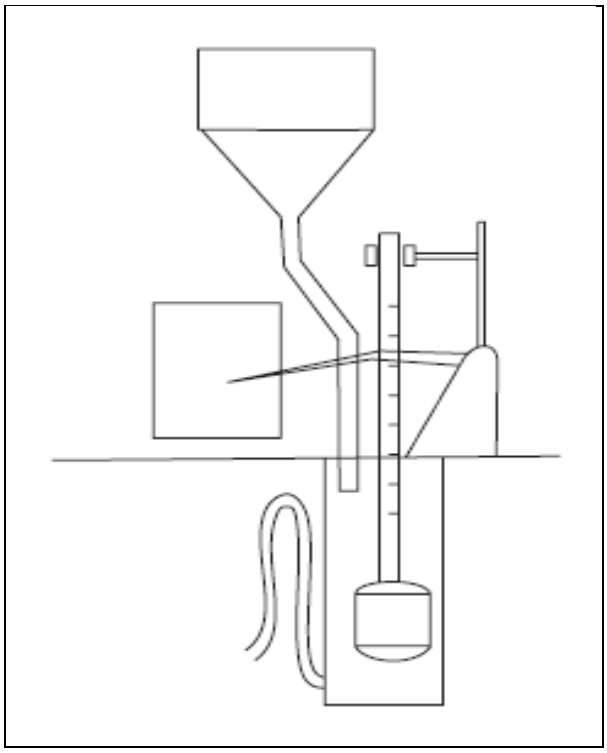


Figura 3.6 Pluviógrafo sin sifón automático

Pluviógrafo de flotador con sifón automático, el sifón automático se ceba por sí mismo cuando la plumilla ha alcanzado su máxima altura, y al mismo tiempo ésta vuelve al cero. En el tipo de pluviógrafoHellmanla lluvia caída escurre a un receptor que, una vez lleno, se vacía automáticamente por un sifón acodado. Los cambios de altura del agua en dicho receptor son registrados por una plumilla fijada a un vástago unido al flotador, cuyo movimiento, perfectamente vertical, está asegurado por unos carriles. El tambor da la revolución completa en una semana.

La boca de este tipo de aparato, como la del pluviómetro, está situada a 1.50 m del suelo. Para ajustar el cero, o lo que es lo mismo, regular el momento en que se vacía el receptor, puede variarse la altura del codo del sifón mediante un dispositivo. El sifón de este aparato tiene el inconveniente de que su descarga no es súbita, sino

que se inicia con un goteo preliminar que evidentemente origina un error en el registro. En otros tipos de pluviógrafos esto se evita mediante otros modelos de sifones (Figura 3.7).

Como se indicó anteriormente, el inconveniente común de los pluviógrafos de flotador es que las heladas bloquean al flotador al solidificarse el agua del receptor. En los pluviógrafos Lambretch, análogos a los que se citaron, este inconveniente está resuelto con una lámpara de infrarrojo instalada en el interior de la armadura donde se aloja el sistema de registro. Dicha lámpara se enciende por un termostato cuando la temperatura exterior se aproxima a los 0º C y lo apaga cuando ésta vuelve a subir.

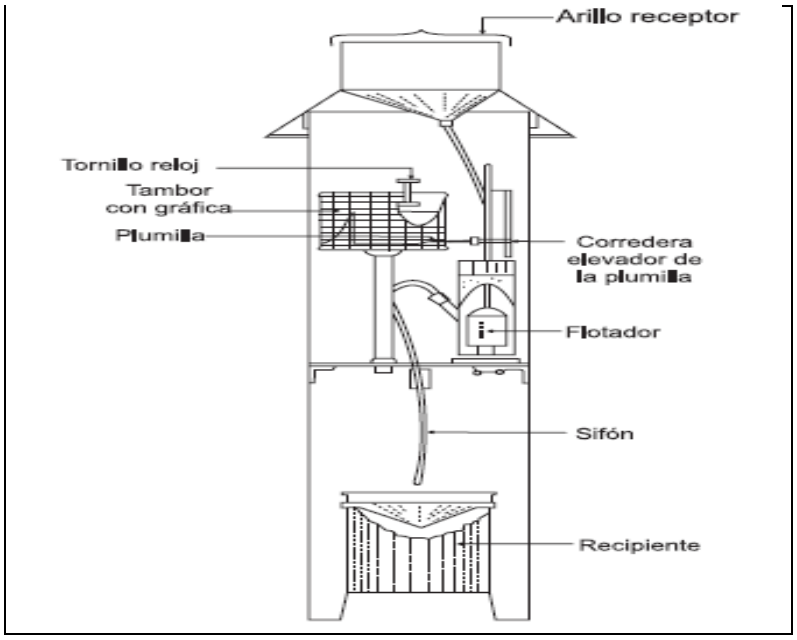


Figura 3.7 Pluviógrafo con sifón automático tipo Hellmann

Pluviógrafo de balanza: es el más indicado en los países muy fríos, porque no resulta dañado por las heladas y, además, sirve de nivógrafo. El colector va colocado sobre el plato de un mecanismo tipo pesacartas que acciona la plumilla inscriptora.

Un inconveniente son las vibraciones debidas al viento, que influyen en el registro; éstas se evitan con amortiguadores de aceite. Va provisto de dos dispositivos, lo cual permite la rápida substitución del colector cuando el que está colocado en el aparato se ha llenado (Figura 3.8).

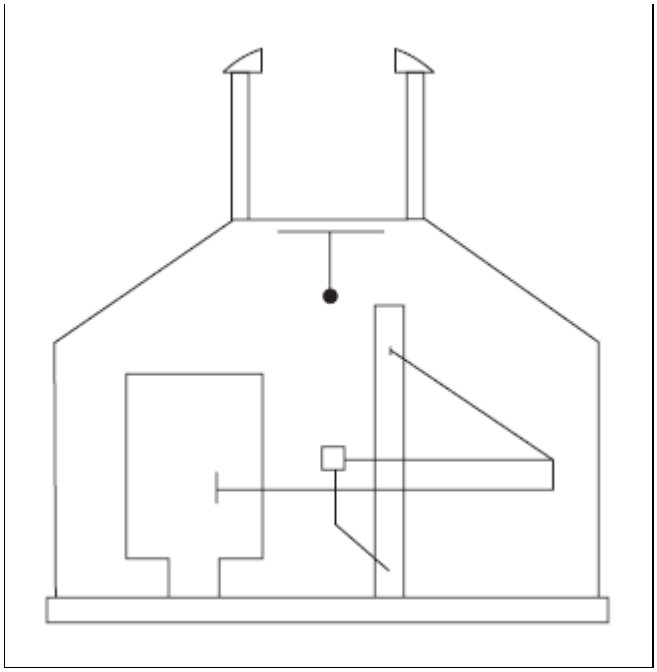


Figura 3.8 Pluviógrafo de balanza

Pluviógrafo de oscilación: en ellos el agua recogida por la boca cae en un depósito gemelo de otro, llamados canalones y montados ambos sobre un eje capaz de bascular alrededor de otro horizontal. Cada vez que los canalones oscilan se genera un movimiento en el engranaje que se transmite hasta la plumilla, la cual registra en la gráfica la altura de agua precipitada (Figura 3.9).

En otros pluviógrafos con el mismo principio, cuando uno de los canalones está lleno, el desplazamiento del centro de gravedad del sistema móvil le obliga a girar hasta tocar un contacto eléctrico, quedando entonces el otro canalón bajo la boca,

repitiendo así la operación alternativamente. El registro puede hacerse en gráfica o a distancia, eléctricamente, este último también puede considerarse continuo, puesto que el volumen de los dos depósitos es del orden de 5 cm^3 (un cuarto de mm de lluvia). El tiempo que transcurre para efectuar el cambio de un canalón a otro es de aproximadamente 0.2 segundos, suficiente para generar un error en la medición, que aumenta con la intensidad de la lluvia. El error es de poca importancia para lluvias de intensidad inferior a 50 mm por hora, dándose muy pocas veces intensidades superiores.

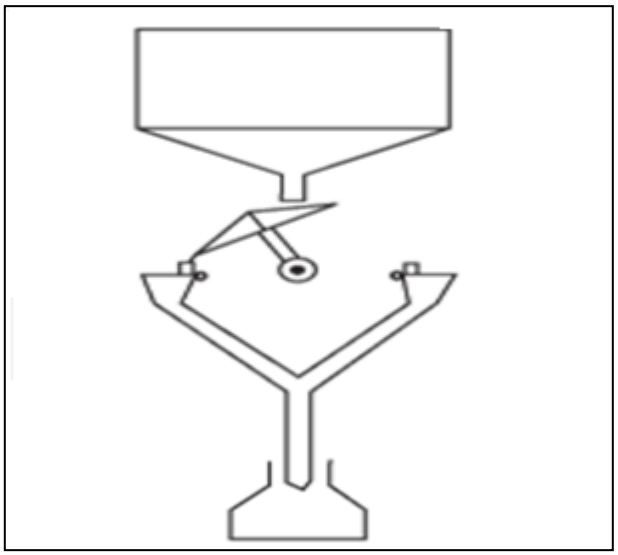


Figura 3.9 Pluviógrafo de oscilación

Combinación del pluviógrafo de balanza y el de oscilación: el pluviógrafoNilssontiene un depósito con cuatro compartimientos a los que impide girar un tope que sostiene a cada uno de ellos. El sistema total está equilibrado por un peso y se mueve hacia abajo cuando la lluvia cae en uno de los compartimientos, elevando el peso y accionando la plumilla inscriptora. Cuando han caído 3 mm de lluvia, el tope suelta el depósito giratorio vaciando el agua y quedando el compartimiento siguiente en disposición de recoger el agua (Figura 3.10).

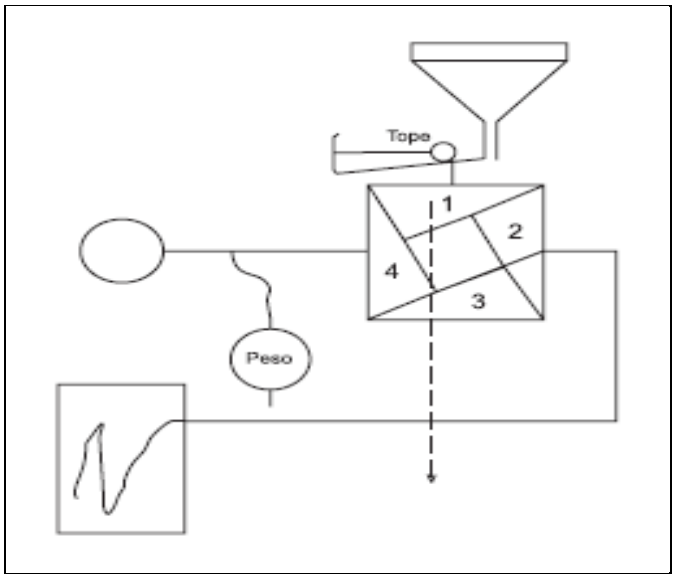


Figura 3.10 Pluviógrafo combinación de balanza y de oscilación tipo Nilsson

3.1.1.7 Período de retorno

La probabilidad de que se produzca un evento, con una intensidad y duración especificada, se llama período o frecuencia de retorno. La intensidad de una tormenta puede predecirse para cualquier período de retorno y duración de la tormenta, a partir de tablas basadas en datos históricos de posición.

3.1.1.8 Frecuencia de inundación

No hay ningún modo de predecir cuándo tendrá lugar una inundación y de qué tamaño será, pero los eventos de inundaciones pasadas pueden proporcionar alguna información en cuanto a lo que se podría esperar.

3.1.2 Escorrentía superficial

La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la

escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama polución de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróeo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.

3.1.2.1 Generación

La escorrentía superficial puede generarse por precipitación o por fundición de nieve o glaciares.

La fundición de nieve y glaciares se da sólo en áreas lo bastante frías como para que se formen permanentemente. La escorrentía de nieve suele alcanzar su punto máximo en primavera, y los glaciares se derriten en verano, lo que produce máximos de flujo pronunciados en los ríos afectados por ellos. El factor determinante de la tasa de fundición de nieve o glaciares es la temperatura del aire y la duración de la luz solar. En las regiones de alta montaña, las corrientes se elevan durante los días soleados y disminuyen en los nublados debido a la razón anterior.

En áreas donde no hay nieve, la escorrentía proviene de la precipitación. Sin embargo, no toda la precipitación produce escorrentía, porque el almacenaje en los suelos puede absorber los chaparrones ligeros. En los suelos muy antiguos de Australia y África del Sur, las raíces proteoides, con sus redes muy densas de pelos, pueden absorber tanta agua de lluvia como para evitar la escorrentía, aunque caigan cantidades sustanciales de lluvia. En estas regiones, incluso en suelos de arcilla agrietados relativamente menos estériles, son necesarias cantidades altas de precipitación, y un bajo potencial de evaporación, para generar cualquier escorrentía

superficial, lo que conduce a adaptaciones especializadas a corrientes muy variables (por lo general, efímeras).

- ✓ Flujo terrestre con exceso de infiltración: Hay un exceso de infiltración cuando la tasa de precipitación en una superficie excede la tasa a la cual el agua puede infiltrarse en la tierra, y cualquier cuenca para almacenamiento está ya llena. A este proceso también se le llama flujo terrestre hortoniano (en honor de Robert E. Horton), o flujo terrestre insaturado. Se produce con más frecuencia en regiones áridas y semiáridas, donde las intensidades de precipitación son altas y la capacidad de infiltración del suelo es reducida debido a la impermeabilización de la superficie, o en áreas pavimentadas.

- ✓ Flujo terrestre con exceso de saturación: Cuando el suelo está saturado y la cuenca de almacenamiento llena, la precipitación producirá inmediatamente una escorrentía superficial. El nivel precedente de humedad del suelo es un factor que afecta al tiempo que pasará hasta que el suelo se sature. Esta escorrentía se conoce también como flujo terrestre saturado.

- ✓ Flujo de retorno subsuperficial: Después de que el agua se infiltra en el suelo en la porción en cuesta de una colina, el agua puede fluir lateralmente por el suelo, y exfiltrarse (fluir fuera) cerca de un canal. También se le llama flujo interno.

Al fluir, la cantidad de escorrentía puede verse reducida de varios modos: una pequeña parte puede evaporarse; el agua puede almacenarse temporalmente en cuencas microtopográficas; y otra parte puede fluir inmediatamente sobre la superficie. La escorrentía superficial que permanece al final fluye en una corriente de agua como ríos, lagos, estuarios u océanos.

3.1.3 Evaporación

En hidrología, es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta.

La evaporación es un proceso físico que consiste en el pasaje lento y gradual de un estado líquido hacia un estado más o menos gaseoso, en función de un aumento natural o artificial de la temperatura, lo que produce influencia en el movimiento de las moléculas, agitándolas. Con la intensificación del desplazamiento, las partículas escapan hacia la atmósfera transformándose, consecuentemente, en vapor.

Para estudiar la evaporación se deben considerar los distintos orígenes desde los que se produce. Una parte de lluvia queda en los vegetales, interceptada por las hojas o troncos, desde donde hay evaporación. Otra parte llega al suelo y lo moja, así habrá también evaporación desde el suelo húmedo, con variaciones del grado de humedad; una vez saturado el suelo, el agua corre por la superficie, aunque no por cauces, y también desde ésta se produce evaporación. Por último, una parte alcanza los cauces y entonces se tendrá evaporación desde superficies líquidas continuas, es decir, mares, lagos y ríos.

Hay otra forma especial de evaporación, la que se produce a partir de la nieve y de los hielos, el paso no es del estado líquido al gaseoso, sino del sólido al gaseoso; este fenómeno se conoce como sublimación o volatilización.

Todos estos lugares donde se acumula el agua dan lugar al fenómeno físico de la evaporación, pero también existen otros que hay que estudiar, las plantas que toman el agua del suelo por medio de sus raíces y a través de su ciclo biológico la regresan a la atmósfera por medio de la transpiración. En muchos casos no interesa distinguir qué parte es de evaporación física propiamente dicha y cuál es del ciclo

biológico de la planta o transpiración, es así cuando la evaporación y la transpiración se engloban en una variable única y se habla de evapotranspiración.

La evaporación es un fenómeno en el cual átomos o moléculas en el estado líquido (o sólido, se sublima) ganan energía suficiente para pasar al estado de vapor. El movimiento térmico de una molécula de líquido debe ser suficiente para vencer la tensión superficial y evaporar, esto es, su energía cinética debe exceder el trabajo de cohesión aplicado por la tensión superficial a la superficie del líquido. Por eso, la evaporación acontece más rápidamente a altas temperaturas, a altos caudales entre las fases líquidas y vapor y en líquidos con bajas tensiones superficiales (esto es, con presión de vapor más elevada).

3.1.4 Transpiración

Se estudia ampliamente en hidrología agrícola. Consiste en que las raíces de la planta toman el agua del suelo por ósmosis, ésta asciende por el tronco hasta llegar por las ramas a las hojas, donde se pone en contacto con la atmósfera. La superficie de evaporación es muy superior a la superficie aparente de la hoja, porque se produce no sólo desde la superficie sino también desde el interior de las hojas, es decir, a través de los poros el aire alcanza la masa vegetal interior contribuyendo así a la evaporación.

La transpiración también depende del poder evaporante de la atmósfera, y por tanto, de la temperatura, de la humedad y de la velocidad del viento. También influye la humedad del suelo, pero si el suelo está muy seco sin llegar a estarlo totalmente, la planta no puede absorber el agua por la raíz y transmitirla, de manera que con humedades muy bajas en el suelo, el proceso de la transpiración cesa.

3.1.5 Medición de la evaporación y transpiración

Los instrumentos empleados para medir el poder de evaporación del aire son los evaporímetros o atmidómetros, los cuales se clasifican en:

Medidores de evaporación potencial o del poder evaporante de la atmósfera:

- ✓ **Tanques de evaporación**
- ✓ **Recipientes de vaporización**
- ✓ **Recipientes de porcelana porosa**
- ✓ **Evaporímetros de disco de papel.**

Evaporímetros registradores:

- ✓ **Evaporígrafos**

3.1.5.1Tanques de evaporación

Los tanques de evaporación comúnmente usados para las medidas ordinarias están hechos de hierro galvanizado, zinc y cobre y son generalmente circulares, habiéndolos en varios tamaños. Pueden estar o no pintados y sus superficies pueden o no estar cubiertas con una red o malla. Pueden instalarse sobre el suelo, en el suelo o flotar en una superficie de agua.

Una de las principales causas de las variaciones entre la evaporación de un tanque y la de una masa de agua relativamente profunda, es la diferencia en el calor almacenado. Parte del calor recibido en la superficie de un lago o estanque profundo durante la primavera y el verano, sirve para calentar el agua a considerable profundidad y no es inmediatamente utilizable como fuente de energía para la evaporación. Este calor almacenado suministra energía adicional para la evaporación durante el otoño y el invierno.

El agua del tanque, en cantidad escasa, tiene poca capacidad para almacenar calor, con el resultado de que las medidas están más directamente influidas por el calor recibido. Los tanques flotantes se usan a menudo para minimizar esta discrepancia y, aunque sus medidas se consideran como más representativas, también requieren ajuste. Un elemento de desconfianza en la medida de los tanques flotantes es el posible "salpicado" del agua hacia adentro o de adentro hacia afuera por la acción de las olas.

Ya se dijo que la evaporación sobre los tanques es más grande que la de las adyacentes masas de agua líquida. Generalmente la diferencia varía en razón inversa al tamaño de los tanques, por lo que las medidas de los pequeños requieren los más grandes ajustes.

La proporción entre la evaporación de una gran masa de agua y la de un tanque se conoce con el nombre de coeficiente del tanque. Éste se usa para estimar la evaporación de un lago, estanque o pantano aplicando las medidas de tanques próximos. El coeficiente es variable y, por lo general, más alto en invierno que en verano, porque en invierno disminuye la evaporación de los tanques.

Para realizar la medida en los tanques, generalmente se utilizan dos métodos. Uno que puede llamarse volumétrico, consiste esencialmente en medir los volúmenes de agua que es preciso añadir periódicamente al tanque para reponer en éste su nivel inicial; se obtiene haciendo que el agua del depósito enrase con la punta metálica de un vástago unido al fondo o a la pared del tanque.

El otro método se basa en la medida periódica de los niveles que el agua tiene en el tanque, deduciendo como diferencia de estos niveles la evaporación habida en el tiempo transcurrido entre dos medidas consecutivas. Aquí el nivel del agua en el depósito se obtiene mediante un tornillo medidor (tornillo micrométrico), que

consiste en un vástago roscado y graduado que termina en un gancho de punta afilada (Figura 3.11).

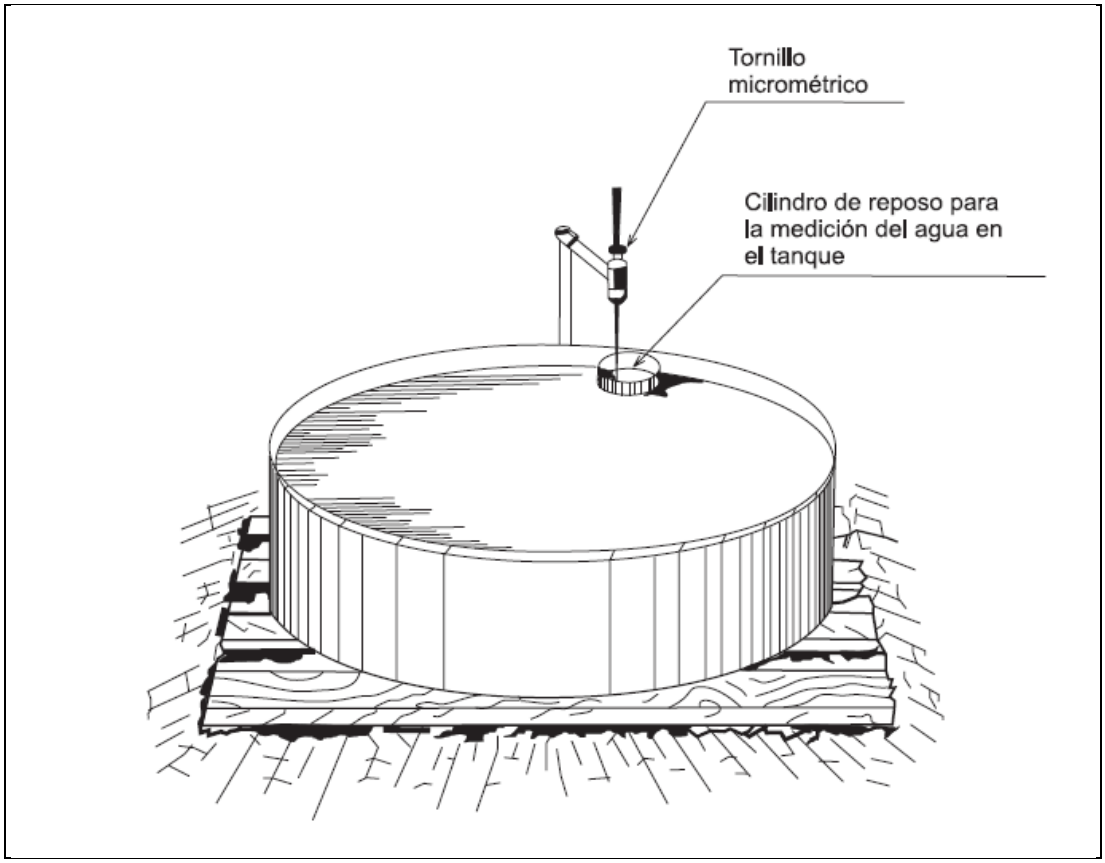


Figura 3.11 Tanque de evaporación sobre el suelo.

3.1.5.2 Recipientes de vaporización

Existe un evaporímetro de balanza formado por un recipiente lleno de agua, que se coloca como el platillo de los aparatos llamados pesacartas. Cada día se llena y al cabo de 24 horas, como parte del agua se habrá evaporado, el platillo habrá subido, pudiéndose leer el número de milímetros que ha bajado la superficie de esa agua debido a la evaporación (Figura 3.12).

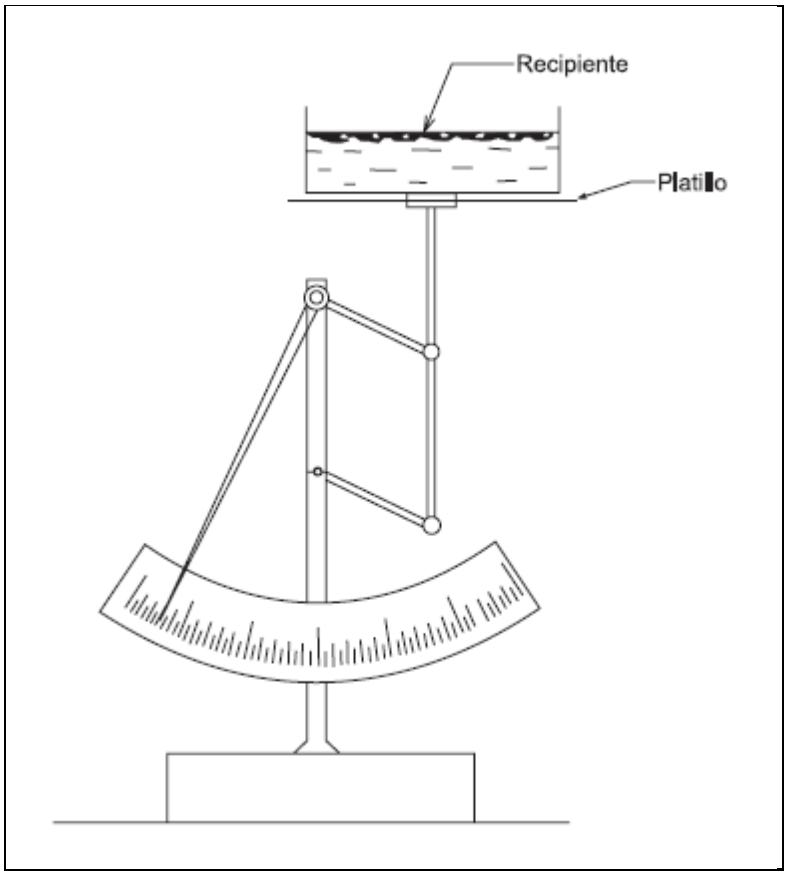


Figura 3.12 Evaporímetro Wild tipo pesacartas

3.1.5.3 Recipientes de porcelana porosa

Entre los aparatos de este tipo está la esfera de *Livingston*, la cual se usa mucho en investigaciones botánicas y forestales. Consiste en una esfera de porcelana porosa con un vástago barnizado e impermeable; para usarla, ésta se une a un tubo de vidrio que entra en una botella con agua. La esfera es alimentada por el vapor de agua que pasa a través del tubo y la evaporación se mide calculando la pérdida de agua del depósito (Figura 3.13).

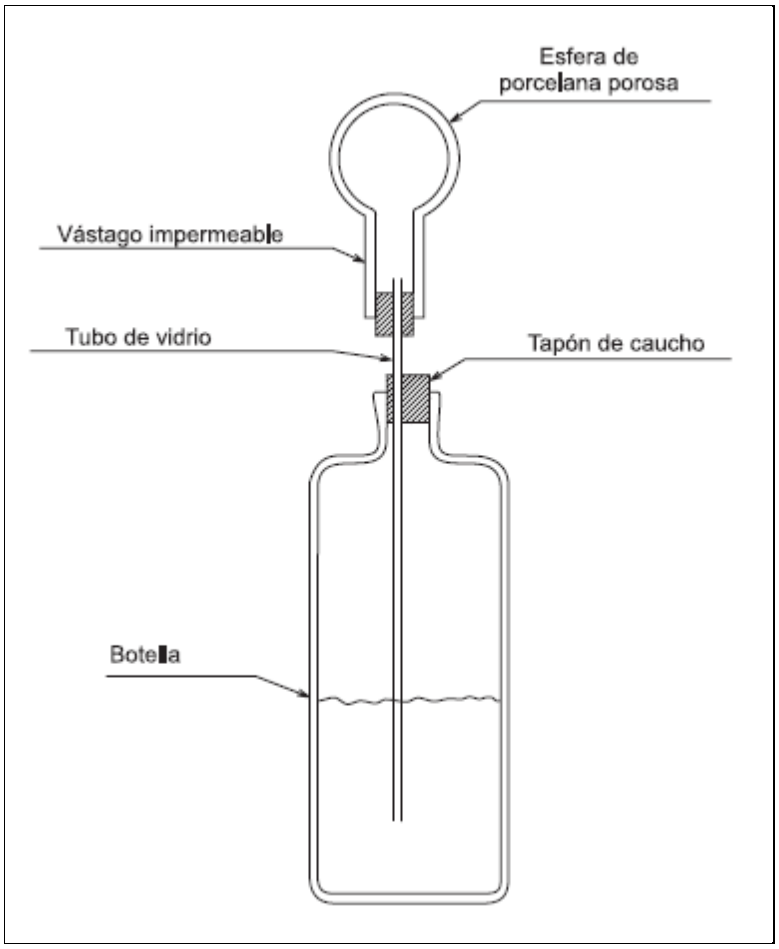


Figura 3.13 Esfera de Livingston

3.1.5.4 Evaporímetros de disco de papel

De este tipo es el evaporímetro Piche, que es el más sencillo, barato y práctico. Está formado por un tubo de 1 cm de diámetro graduado en centímetros y milímetros, abierto por un extremo que se cubre con un disco de papel filtro sujeto por un muelle,se llena de agua destilada o de lluvia, se invierte con cuidado y se cuelga (Figura 3.14). Los tubos también pueden ser en forma de pipa, con el orificio en la parte inferior de ésta, sobre el cual se coloca el disco de papel filtro, igualmente sostenido por un muelle.

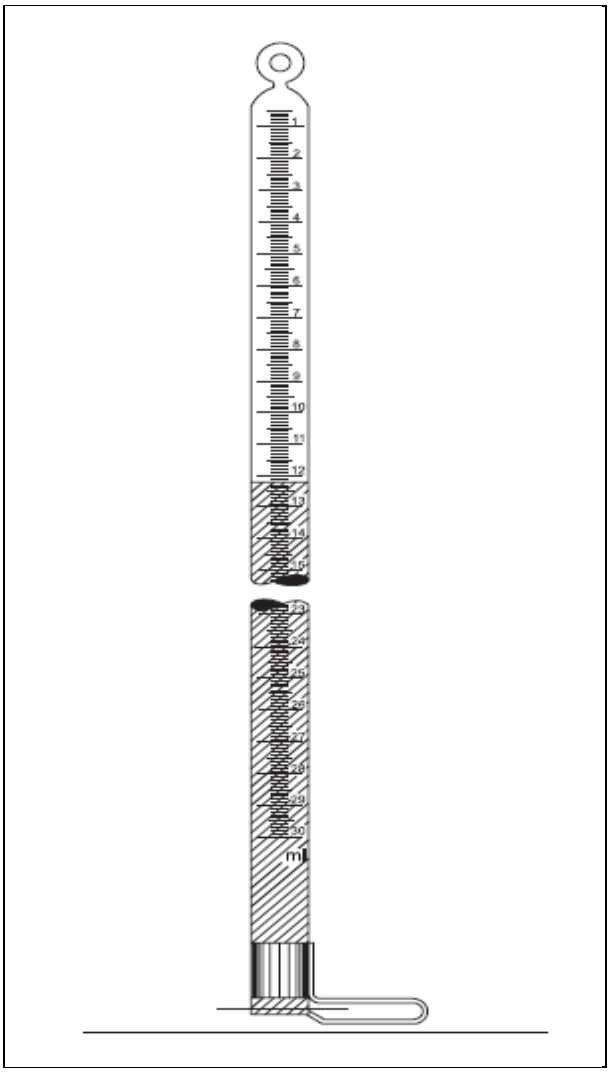


Figura 3.14 Evaporímetro Piche

3.1.5.5 Evaporígrafos

En general, los tanques de evaporación se pueden combinar con un flotador terminado en una varilla y plumilla dando lugar a los evaporígrafos.

La medición de la transpiración se realiza por los mismos métodos que la evaporación desde el suelo. La diferencia es que, en lugar de trabajar con un suelo desnudo, se trabaja con un suelo en el que se han plantado distintas especies vegetales y se estudia la influencia de una u otra especie en la transpiración.

3.1.6 Infiltración o percolación

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

Se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

Existen factores que influyen en la capacidad de infiltración, tales como: entrada superficial, transmisión a través del suelo, capacidad de almacenamiento del suelo, características del medio permeable y características del fluido.

Entrada superficial, la superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.

Transmisión a través del suelo, el agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.

Acumulación en la capacidad de almacenamiento, el almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.

Características del medio permeable: la capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo, si es arenoso o arcilloso, la vegetación, la estructura y capas de suelos.

Características del fluido: la contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

3.1.6.1 Medición de la infiltración

Los métodos para medir la infiltración se dividen en métodos directos e indirectos.

Métodos directos, son los que permiten valorar la cantidad de agua infiltrada sobre una superficie de suelo, para ello se utilizan aparatos como:

- ✓ Lisímetros: que consisten en un depósito enterrado, de paredes verticales, abierto en su parte superior y relleno del terreno que se quiere estudiar. La superficie del suelo está sometida a los agentes atmosféricos y recibe las precipitaciones naturales. El agua de drenaje es medida, al igual que la humedad y la temperatura del suelo a diferentes profundidades. Los inconvenientes son la necesidad de períodos largos, la reconstrucción del suelo no es adecuada ya que no se reproduce exactamente igual el proceso que el mismo sufrió debido al accionar de la naturaleza y el hombre.

- ✓ Simuladores de lluvia: se utilizan mediante la aplicación de agua en forma constante reproduciendo lo más fielmente el acontecer de la precipitación. Las gotas son del tamaño de las de la lluvia y tienen una energía de impacto similar, comparándose los efectos. Varían en tamaño, cantidad de agua necesaria y método de medición. El área de lluvia es variable entre 0,1 m^2 y 40 m^2. La diferencia entre precipitación y escorrentía representa la valoración del volumen infiltrado.

- ✓ Infiltrómetros: para realizar el ensayo de infiltración en el campo se utiliza el infiltrómetro, el cual es un aparato sencillo, de uno o dos tubos de chapa de

diámetro fijo. Se clava en el suelo a una profundidad variable, se le agrega una cierta cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse.

También pueden ser dos anillos concéntricos, usándose el interior, de 23 cm. de diámetro para determinar la velocidad de infiltración, mientras que el exterior de 35 cm se inunda a las mismas profundidades para disminuir los efectos de frontera en el anillo interior. Los anillos se insertan en el suelo a la profundidad mínima necesaria para evitar las fugas de los mismos.

La medición es menor que la anterior y más concordante con la capacidad real del suelo. El método de Muntz trabaja con los mismos anillos pero cambia la forma de medir junto al cilindro interior se entierra una punta, colocándose una determinada cantidad de agua por encima y repitiendo la medición en intervalos de tiempo y descenso del agua.

Los principales inconvenientes, aparte del carácter local de la experiencia, son que el suelo se modifica al clavar el tubo, y no hay efectos de compactación, ni de arrastre de finos, ni del aire.

Se aclara que el terreno no es preparado para el ensayo de infiltración, si no que se hace sobre el terreno natural. Como la medición varía según el estado de humedad inicial existente al momento del ensayo, deben realizarse una serie de ensayos para distintos grados de humedad.

- ✓ Tubos: es un tubo de cilíndrico de 0,20 a 0,25 cm de diámetro y un alto de 0,60 m, que se hinca en el suelo, midiéndose el descenso del agua, con el principal inconveniente que el agua infiltrada por el círculo del fondo, en las zonas del suelo a

los lados del aparato participan también en la infiltración; dando medidas superiores a la realidad.

Los Métodos indirectos, determinan la capacidad de infiltración considerando una cuenca perfectamente controlada, con datos precisos de precipitación, evaporación y escorrentía, se puede determinar la infiltración. Los ensayos de infiltración permiten conocer la variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo, decreciente a medida que transcurre el mismo. Los ensayos más simples y difundidos son los que se desarrollan con los anillos concéntricos. Los datos obtenidos de campo se vuelcan en una planilla registrándose las distintas alturas de agua y los tiempos correspondientes. Los intervalos de tiempo dependen del suelo donde se hace la medición.

3.1.7 Escurrimiento

El escurrimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Dicho de otra manera, es el deslizamiento virgen del agua, que no ha sido afectado por obras artificiales hechas por el hombre. De acuerdo con las partes de la superficie terrestre en las que se realiza el escurrimiento, éste se puede dividir (Figura 3.15).

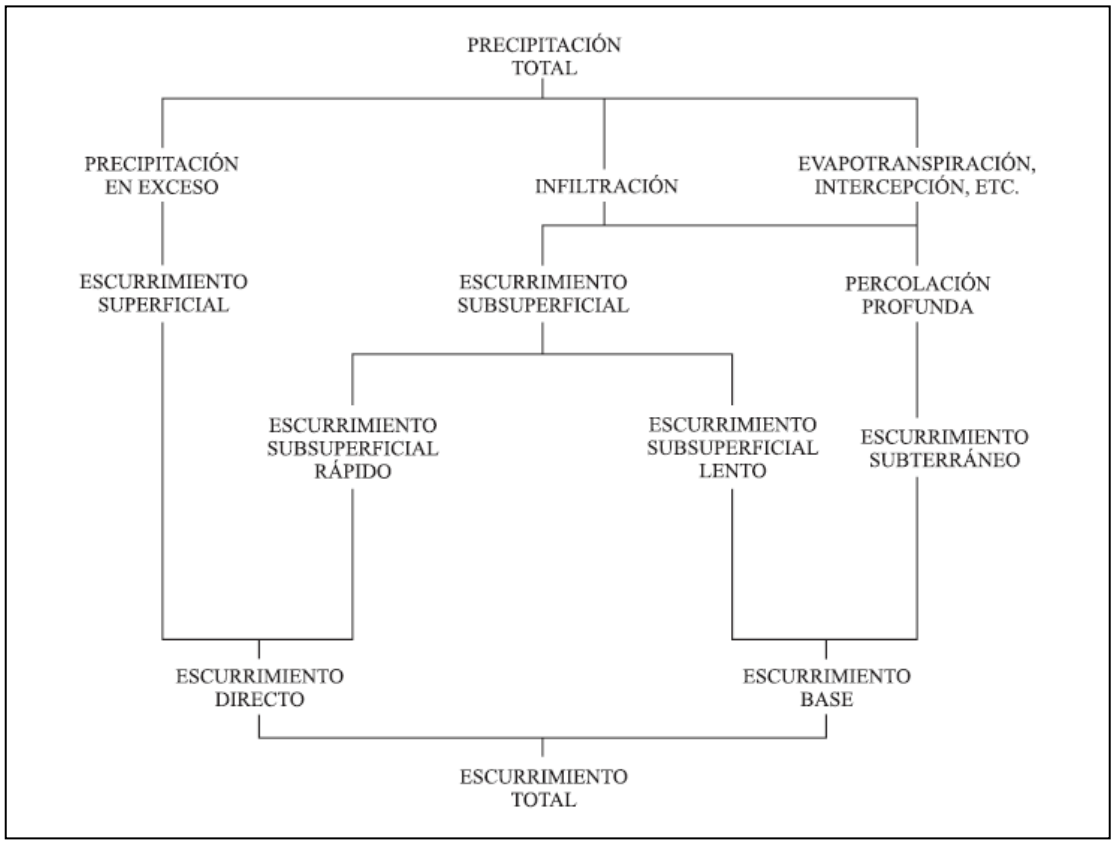


Figura 3.15 Diagrama del escurrimiento

3.1.7.1 Escurrimiento superficial o escorrentía

Es la parte del agua que escurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos. A la parte de la precipitación que contribuye directamente al escurrimiento superficial se le llama precipitación en exceso.

3.1.7.2 Escurrimiento subsuperficial

Es la parte del agua que se desliza a través de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes. Una parte de este tipo de escurrimiento entra rápidamente a formar parte de las corrientes superficiales y a la otra le toma bastante tiempo el unirse a ellas.

3.1.7.3 Escurrimiento subterráneo

Es aquél que, debido a una profunda percolación del agua infiltrada en el suelo, se lleva a cabo en los mantos subterráneos y que, posteriormente, por lo general, descarga a las corrientes fluviales.

El escurrimiento subterráneo y la parte retardada del escurrimiento subsuperficial constituyen el escurrimiento base de los ríos. La parte de agua de escurrimiento que entra rápidamente en el cauce de las corrientes es a lo que se llama escurrimiento directo y es igual a la suma del escurrimiento subsuperficial más la precipitación que cae directamente en los cauces.

3.1.7.4 Fases del escurrimiento

El escurrimiento, se puede describir en cinco fases (William G. Hoyt, 1942):

- ✓ Primera fase

Comprende la época seca: en la que la precipitación es escasa o nula.

La corriente de los ríos: es alimentada por los mantos de agua subterránea.

*La evapotranspiración:*es bastante intensa, y si esta fase no fuera interrumpida, llegarían a secarse las corrientes.

*En regiones de clima frío:*donde la precipitación es en forma de nieve, si la temperatura permite el deshielo, habrá agua disponible para mantener las corrientes fluviales, interrumpiéndose así la primera fase e iniciándose la segunda.

- ✓ Segunda fase

*Caen las primeras precipitaciones:*cuya misión principal es la de satisfacer la humedad del suelo.

*Las corrientes superficiales:*si no se han secado, siguen siendo alimentadas por el escurrimiento subterráneo.

*Si se presenta escurrimiento superficial:*éste es mínimo.

La evapotranspiración se reduce.

*Cuando existe nieve:*ésta absorbe parte de la lluvia caída y su efecto de almacenamiento alargará este segundo período.

*A través del suelo congelado:*puede infiltrarse el agua precipitada si su contenido de humedad es bajo.

- ✓ Tercera fase

*Comprende:*el período húmedo en una etapa más avanzada.

*El agua de infiltración:*satura la capa del suelo y pasa, por gravedad, a aumentar las reservas de agua subterránea.

*Se presenta el escurrimiento superficial:*que puede o no llegar a los cauces de las corrientes, lo cual depende de las características del suelo sobre el que el agua se desliza.

*Si el cauce de las corrientes aún permanece seco:*el aumento del manto freático puede ser, en esta fase, suficiente para descargar en los cauces.

*Si la corriente de agua sufre un aumento considerable:*en lugar de que sea alimentada por el almacenamiento subterráneo (corriente efluente), la corriente contribuirá al incremento de dicho almacenamiento (corriente influente) (Figura 3.16).

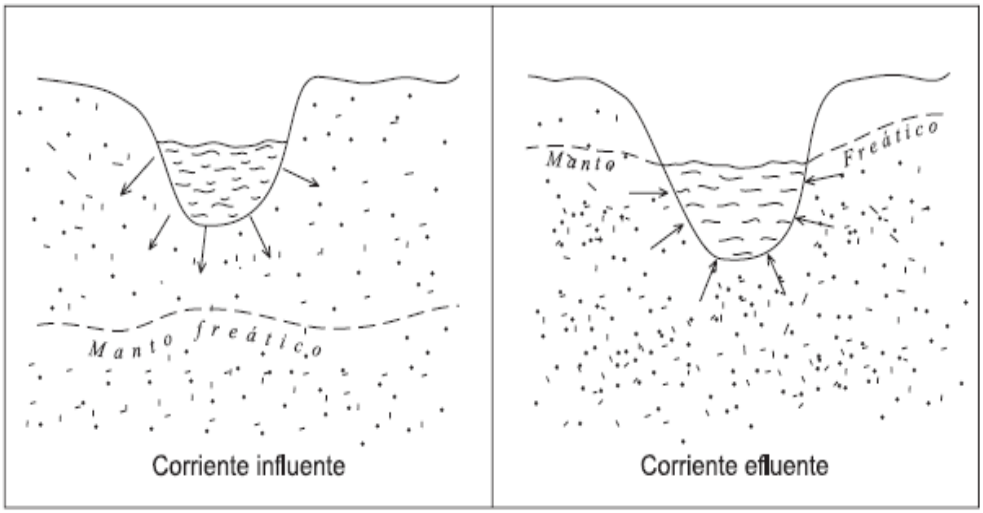


Figura 3.16 Tipo de corriente según recargue al manto freático (influente) o se alimente del manto freático (efluente).

La evapotranspiración es lenta.

*En caso de que exista nieve,*y su capacidad para retener la lluvia haya quedado satisfecha, la lluvia caída se convertirá directamente en escurrimiento superficial.

*Si el suelo permanece congelado:*retardará la infiltración, lo que favorecerá al escurrimiento, pero en cuanto se descongele, el escurrimiento superficial disminuirá y aumentará el almacenamiento subterráneo.

✓ Cuarta fase

Continúa el período húmedo.

La lluvia: ha satisfecho todo tipo de almacenamiento hidrológico.

En algunos casos el escurrimiento subsuperficial: llega a las corrientes tan rápido como el escurrimiento superficial.

El manto freático: aumenta constantemente y puede llegar a alcanzar la superficie del suelo, o bien la velocidad de descarga hacia las corrientes puede llegar a ser igual a la de recarga.

Los efectos de la nieve y el hielo: son semejantes a los de la tercera fase.

✓ Quinta fase

El período de lluvia cesa.

Las corrientes de agua: se abastecen del escurrimiento subsuperficial, del subterráneo y del almacenamiento efectuado por el propio cauce.

La evapotranspiración: empieza a incrementarse.

En caso de existir nieve: cuando la temperatura está bajo 0º C, produce la prolongación de esta fase.

Esta fase termina cuando en las reservas de agua que quedan reducidas, se presentan las características de la primera fase.

3.1.7.5 Factores que afectan al escurrimiento

Los factores que afectan al escurrimiento se refieren a las características del terreno (cuencas hidrográficas), y se dividen en dos grandes grupos: los climáticos y los relacionados con la fisiografía.

- ✓ Factores climáticos*:* son aquéllos que determinan, de la cantidad de agua precipitada, la destinada al escurrimiento.

- ✓ Precipitación:es el elemento climático de más importancia para el escurrimiento, debido a que depende de ella. Interesan varios aspectos de este elemento para el conocimiento del escurrimiento. Si la precipitación es en forma líquida, el escurrimiento se presenta con relativa rapidez; si es en forma sólida no hay ningún efecto, a menos que la temperatura permita la rápida licuefacción.

Cuando la precipitación es suficiente para exceder la capacidad de infiltración del suelo, se presenta el escurrimiento superficial y cualquier aumento en la intensidad repercute rápidamente en dicho escurrimiento.

Entre más dure la precipitación mayor será el escurrimiento, independientemente de su intensidad. Una lluvia prolongada, aun cuando no sea muy intensa, puede causar gran escurrimiento superficial, ya que con la lluvia decrece la capacidad de infiltración.

Generalmente la lluvia nunca abarca toda la superficie de la cuenca; para cuencas pequeñas, los mayores escurrimientos superficiales resultan de tormentas que abarcan áreas pequeñas, y para cuencas grandes, resultan de aguaceros poco intensos que cubren una mayor superficie.

La dirección del centro de la perturbación atmosférica que causa la precipitación tiene influencia en la lámina y duración del escurrimiento superficial. Si la tormenta se mueve dentro del área de la cuenca, el escurrimiento será mayor que si únicamente la atraviesa. Por otro lado, si el temporal avanza en sentido contrario al drenaje, el escurrimiento será más uniforme y moderado que si se mueve en el sentido de la corriente.

Cuando el suelo posee un alto contenido de humedad, la capacidad de infiltración es baja y se facilita el escurrimiento.

- ✓ Otras condiciones del clima: además de la precipitación existen otros elementos que se deben tomar en cuenta, pues aunque indirectamente, también afectan al escurrimiento; entre ellos la temperatura, el viento, la presión y la humedad relativa.

- ✓ Factores fisiográficos: se relacionan por una parte con la forma y características físicas del terreno y por la otra con los canales que forman el sistema fluvial.

- ✓ Factores morfométricos: son aquellas particularidades de las formas terrestres que influyen en el agua de la lluvia al caer a la superficie, por la velocidad que adquiere, por los efectos que produce y por el tiempo que tarda en llegar al punto de desagüe.

La superficie de las cuencas hidrográficas está limitada por la divisoria topográfica o parteaguas que determina el área de la cual se derive el escurrimiento superficial.

Las cuencas pequeñas se comportan de manera distinta a las cuencas grandes en lo que se refiere al escurrimiento. No existe una extensión definida para diferenciar a

las cuencas pequeñas de las grandes, sin embargo, hay ciertas características que distinguen a unas de otras. Las cuencas pequeñas son más sensibles al uso del suelo y a las precipitaciones de gran intensidad que abarcan zonas de poca extensión. En las cuencas grandes es muy importante el efecto de almacenamiento en los cauces de las corrientes.

La forma interviene principalmente en la manera como se presenta el volumen de agua escurrido a la salida de la cuenca. Generalmente los volúmenes escurridos en cuencas alargadas son más uniformes a lo largo del tiempo, en cambio, en cuencas compactas el agua tarda menos en llegar a la salida, en donde se concentra en un tiempo relativamente corto.

La pendiente del terreno está relacionada con la infiltración, con el escurrimiento superficial, con la contribución del agua subterránea a la corriente y con la duración del escurrimiento.

La orientación de la cuenca y la de sus vertientes se relaciona con el tipo de precipitación, los vientos predominantes y la insolación.

La altitud influye principalmente en la temperatura y en la forma de precipitación.

- ✓ Factores físicos: se refieren a las características físicas del terreno con su estructura y utilización.

El uso y cubierta del suelo cuando el terreno es virgen y está cubierto por vegetación, especialmente de bosques, contribuye a la estabilización de los regímenes de las corrientes; cuando es deforestada el agua corre rápidamente por la superficie. Por otra parte, también son importantes las obras que se efectúan en los mismos

cauces de las corrientes, por ejemplo la construcción de una presa puede producir una sobreelevación del nivel del agua en el tramo anterior al embalse, esto genera un aumento en el nivel del cauce por el depósito de acarreo (azolve), lo cual influye aguas arriba de la corriente; además, afecta el perfil de las capas freáticas.

El tipo de suelo, es decir, la capacidad de infiltración del suelo. Entre más poroso sea y menor contenido de material coloidal posea, tendrá una mayor capacidad de infiltración, lo cual retardará la aparición del escurrimiento superficial.

La geología, también condiciona al escurrimiento en cuanto a la permeabilidad e impermeabilidad de las estructuras que forman el terreno. Cuando el terreno es permeable, el sistema fluvial, durante la época de estiaje, se encuentra bien abastecido por el escurrimiento subterráneo. Cuando el terreno es impermeable, el volumen de escurrimiento se concentra más pronto en el punto de desagüe y en la época de estiaje el nivel de la corriente disminuye considerablemente o bien desaparece.

La topografía, pues son importantes las ondulaciones del terreno y los límites superficiales de la cuenca hidrográfica. Las ondulaciones pueden ser la causa de la presencia de depresiones en donde se acumula el agua, disminuyendo la cantidad destinada al escurrimiento. En relación con la divisoria topográfica, puede ser que haya disparidad entre ésta y la freática, de manera que parte del escurrimiento subterráneo contribuya al escurrimiento de la cuenca vecina atravesando el límite topográfico o bien que reciba parte del escurrimiento subterráneo de esa cuenca vecina.

La red de drenaje, que se refiere a las características de los canales que comprenden el sistema fluvial de la cuenca. Refleja las condiciones del terreno sobre el que se desarrolla.

La densidad hidrográfica, que es la relación de la cantidad de corrientes que existen en la cuenca entre la superficie de ésta. Uno de los métodos para ordenar y contar el número de canales es el de Strahler, que considera canales de primer orden a las corrientes formadoras. Cuando se unen dos canales de primer orden, forman otro de segundo orden, cuando se unen dos canales de segundo orden, forman otro de tercer orden y así sucesivamente (Figura 3.17).

La densidad de drenaje, la cual resulta de dividir la longitud total de las corrientes de agua entre la superficie de la cuenca. Entre mayor sea este índice, más desarrollada estará la red de drenaje. Otras características relacionadas con la red de drenaje son las que se refieren a la capacidad de almacenamiento de las corrientes y a la capacidad de transporte de las mismas.

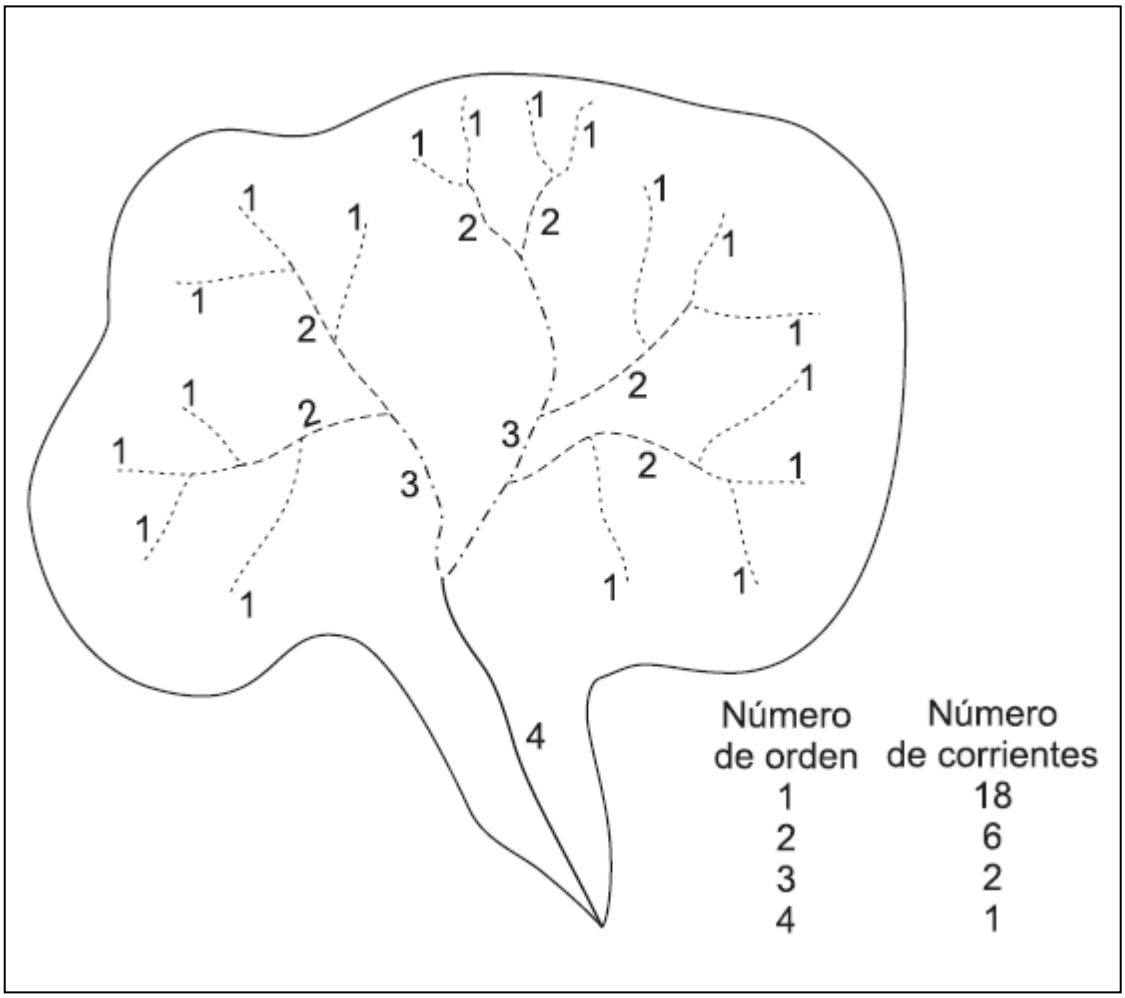


Figura 3.17 Forma de designar el orden de las corrientes en un río.

3.1.7.6 Medición del escurrimiento

Las técnicas y valoración de la medida del agua se agrupan bajo el nombre de Hidrometría. Los lugares en los que se realizan las medidas del escurrimiento se denominan estaciones pluviométricas, hidrométricas o de aforos (Figura 3.18).

Con respecto a la medida del escurrimiento, existen algunos términos que se emplean frecuentemente:

✓ Coeficiente de escurrimiento:es la relación entre la cantidad de agua escurrida y la cantidad de agua precipitada. Se expresa en porcentaje.

✓ Nivel de agua:es la altura del agua de los ríos en la sección en que se mide. Se expresa en unidades lineales.

✓ Velocidad: es la relación del espacio recorrido por el agua de las corrientes en un tiempo determinado. Se puede hablar de velocidad media, superficial o a diferentes profundidades. Se expresa en m/seg.

✓ Gasto o caudal:es el volumen de agua que pasa por determinada sección del río en un intervalo de tiempo. Resulta de multiplicar la velocidad del agua por el área de la sección donde se midió dicha velocidad. Se refiere a gasto o caudal instantáneo, máximo, mínimo y medio. Se expresa en m3/seg.

✓ Avenida: Es el aumento del caudal del río debido a la intensidad o frecuencia de las precipitaciones. Puede durar horas o días. No necesariamente causa inundaciones.

✓ Aportación:es el volumen total escurrido en un período determinado: un día, un mes, un año. Se habla de aportación media anual o escurrimiento medio anual cuando se promedia la aportación de varios años. Se expresa en m3/seg.

✓ Altura media del escurrimiento: resulta de dividir el volumen medio total escurrido entre la superficie de la cuenca. Se expresa en milímetros.

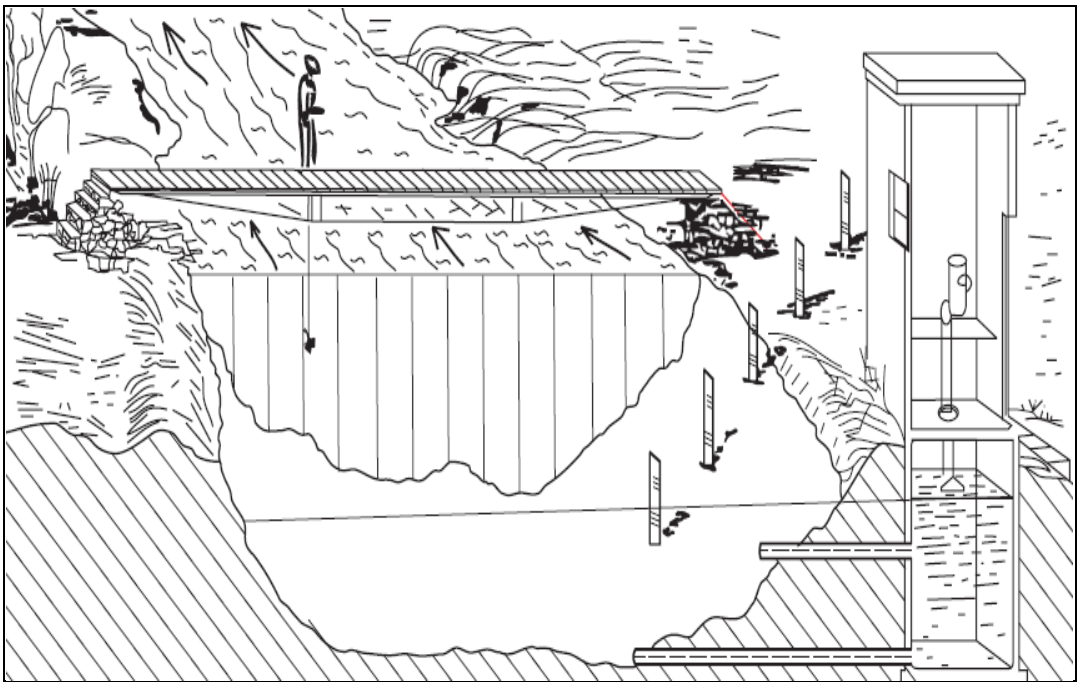


Figura 3.18 Estación hidrométrica de aforos o pluviométrica.

- ✓ Medida del nivel de agua: la medida del nivel de agua interesa por la relación que guarda con el caudal que lleva el río. Los instrumentos que se emplean son los limnímetros y los limnígrafos.

Los limnímetro: están destinados a la observación directa del nivel de agua de los ríos. Los más usados son escalas graduadas hechas de diversos materiales: madera, hierro, plástico, cerámica, etc. Se colocan normalmente en la orilla de los ríos, de tal manera que el cero de la escala coincida con el fondo del cauce. En ocasiones, cuando se quiere estabilizar el cauce del tramo del río escogido para realizar los aforos, se cubre éste con una capa de concreto y en una de las paredes se marca la escala limnimétrica. También se puede utilizar el limnímetro por secciones, que consiste en montar secciones cortas de tal forma que una de ellas siempre quede accesible (Figura 3.19).

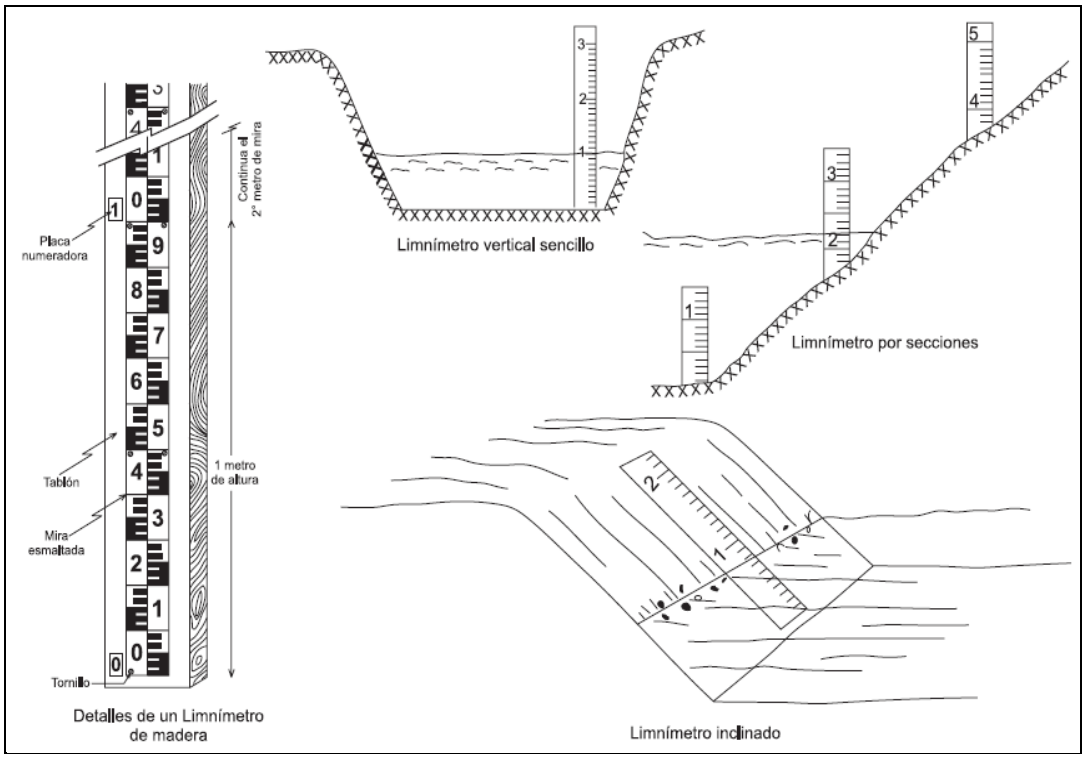


Figura 3.19 Limnímetros.

Los limnígrafos: son aparatos que registran continuamente las variaciones del nivel del agua. Son dos los sistemas fundamentales de funcionamiento de estos aparatos: uno basado en el registro del movimiento de un flotador y otro basado en el registro de la variación de la presión del agua.

En el primer caso, los aparatos constan de un tambor o sistema de rodillos acoplados a un mecanismo de relojería, un flotador con contrapeso y una caja instrumental que protege a las partes más delicadas contra la humedad y el polvo. En el tambor o sistema de rodillos va colocada una gráfica en la que queda registrada la variación del nivel del agua, el movimiento del flotador, colocado sobre la superficie del agua, mueve una pluma a lo largo de la gráfica, y cuando llega al borde, invierte su dirección y continúa el registro en sentido contrario o bien puede seguir atravesando el límite superior de la gráfica y empezar de nuevo por el límite inferior

cuando el mecanismo de relojería es el que acciona la pluma y el movimiento del flotador acciona el tambor (Figura 3.20).

Un aparato registrador tipo flotador requiere de un pozo amortiguador que sirve para proteger el flotador y los cables de contrapeso de los residuos flotantes y de las olas superficiales de la corriente (Figura 3.21).

En el caso de los limnígrafos de presión, las fluctuaciones del nivel del agua ejercen variaciones de presión sobre diversos mecanismos instalados en el fondo del cauce, según el modelo del aparato, esas variaciones son transmitidas a un manómetro comunicado con el tambor del limnígrafo en el que se registran gráficamente. Este tipo de aparatos no requieren pozo amortiguador y se emplean en ríos con orillas muy tendidas (Figura 3.22).

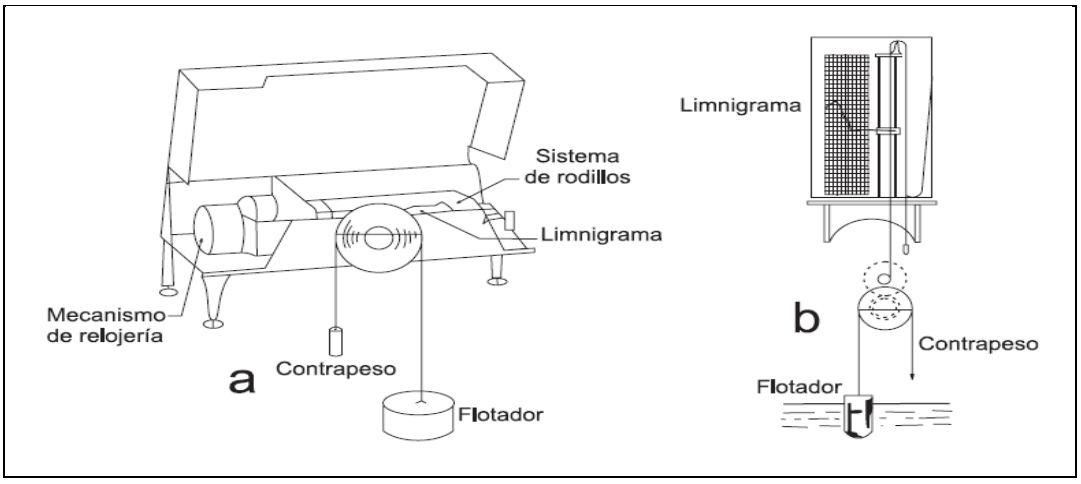


Figura 3.20 Limnígrafos de flotador.

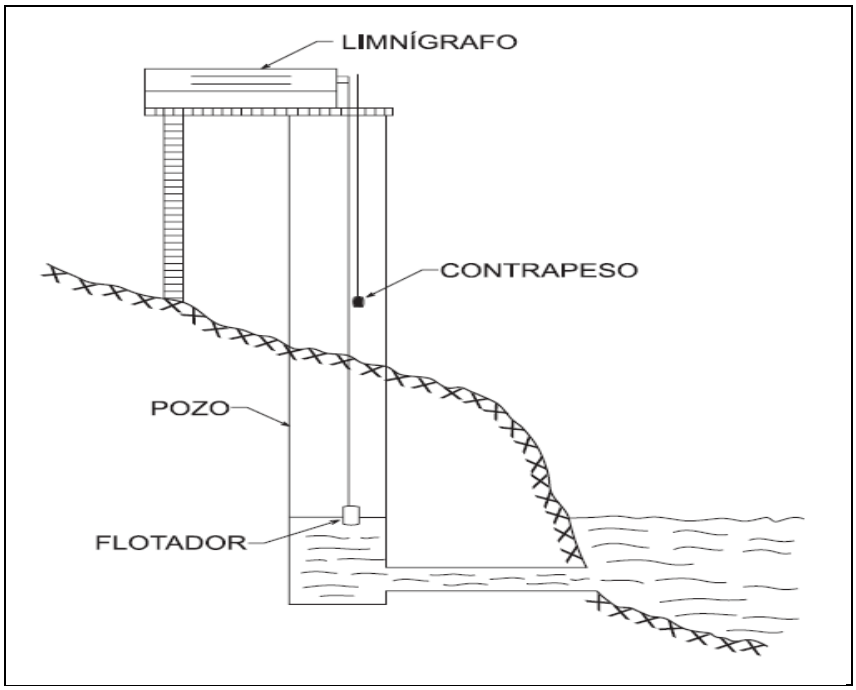


Figura 3.21 Limnígrafos de flotador y pozo amortiguador.

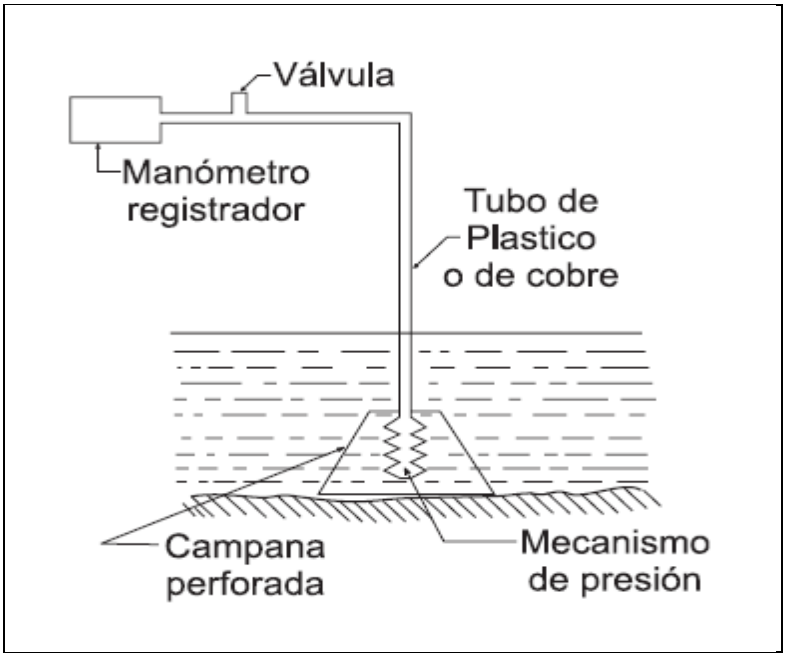


Figura 3.22 Limnígrafos de presión.

- ✓ Medida de la velocidad del agua: Los aparatos más empleados para medir la velocidad de las corrientes de agua son los molinetes (fluviómetros). El mecanismo de su funcionamiento consiste en que el movimiento de la corriente hace girar un eje a través de una hélice o sistema similar. Mientras la velocidad de la corriente permanezca constante, el eje girará también con una velocidad constante, de manera que al medir la velocidad de rotación del eje, mediante una fórmula, se puede conocer la velocidad de la corriente; dicha fórmula viene indicada en el aparato. La velocidad del eje se mide a través de un circuito eléctrico que permite salvar la distancia del observador al aparato; así, cada determinado número de revoluciones del eje suena un timbre, cuyos golpeteos se pueden contrastar fácilmente con un cronómetro, llegando a conocer con suficiente exactitud el número de revoluciones por minuto.

Existen diversos tipos de molinete, pero en general todos constan del molinete propiamente dicho, de un contrapeso estabilizador y del sistema de sustentación que puede ser de barras o tornos (Figura 3.23).

La manera más práctica de utilizar el molinete para aforar es la que se realiza dividiendo la superficie libre de una sección transversal del río en varias fajas verticales, fijando en cada una de ellas un punto cuya vertical constituye la mediana. El primero y último de los puntos deben estar muy próximos a una y otra orillas, respectivamente. Se sitúa el molinete en cada una de las medianas a distintas profundidades, con lo que se logra conocer la velocidad del río a esas diferentes profundidades en diversas verticales (Figura 3.24).

Para el cálculo del aforo se multiplica la velocidad media de cada vertical, que se presenta aproximadamente a los 6/10 de la profundidad, por el área de la faja correspondiente y sumando el gasto obtenido en cada una de ellas se tiene el caudal que pasa por esa sección transversal.

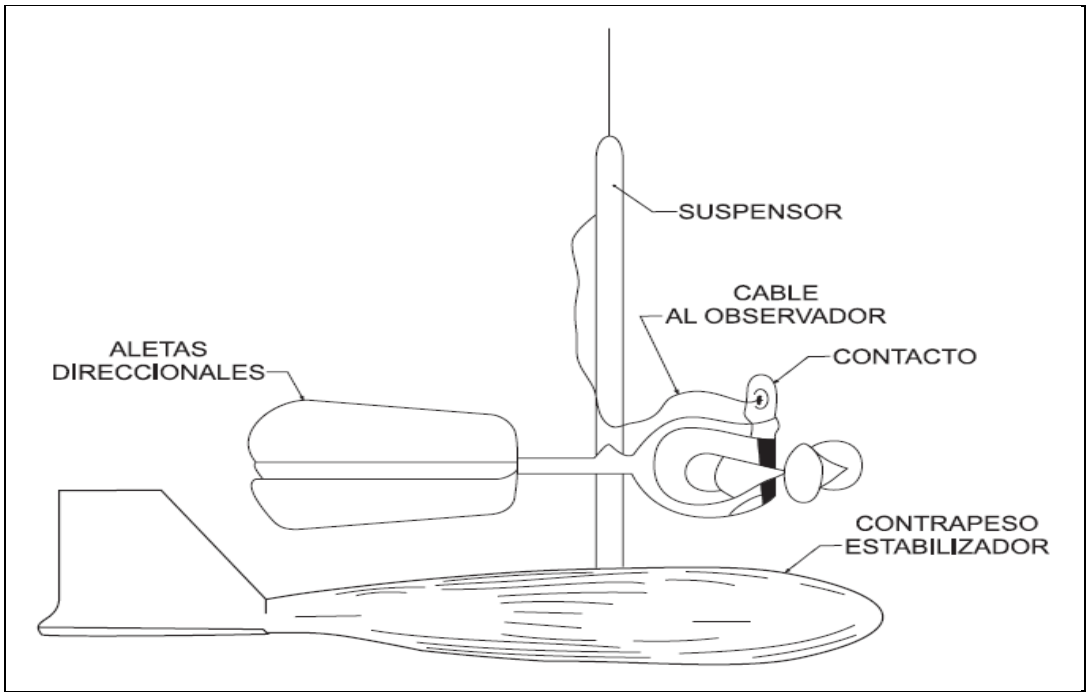


Figura 3.23 Molinete

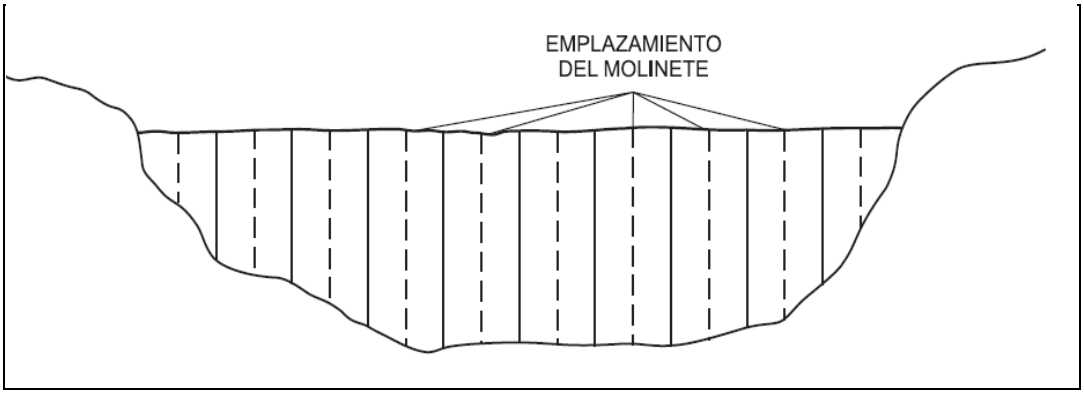


Figura 3.24 División en franjas de la sección trasversal de un río

Otra manera de determinar el gasto de un río es por medio de flotadores. Un flotador puede ser cualquier cuerpo que flota en la corriente de agua. Se señalan dos secciones transversales medidas, situadas a una distancia conocida (L) que constituya

un trazo lo más recto posible del río. Se divide la corriente en tres o más canales y se arrojan en ellos varios flotadores aguas arriba de la primera sección transversal y se miden los tiempos invertidos al pasar de una sección a otra, repitiendo esta operación varias veces con objeto de obtener con mayor aproximación el valor de la velocidad de las aguas. Se deduce la media aritmética de los tiempos (tm) de cada canal y la velocidad media (vc) de cada uno de ellos:

$$vc = 0.85 * \frac{L}{tm} \qquad (3.1)$$

Dónde:

L = Distancia entre las secciones transversales señaladas.
vc = Velocidad media.
tm = Media aritmética de los tiempos.

Por último, se determina el caudal total cuyo valor será la suma de los caudales de cada canal obtenidos al multiplicar la velocidad media de cada canal por el área transversal de los mismos. Un tercer procedimiento son los aforos químicos, en los que se emplean fórmulas basadas en la variación de concentración que experimenta una solución al ser vertida sobre el cauce de un río en el cual circula un caudal determinado que se trata de conocer.

En ocasiones, cuando el gasto de la corriente es escaso, se hace una construcción especial, un vertedor, a través del cual se canaliza el agua y se afora mediante una fórmula que toma en cuenta, entre otros factores, la forma del vertedor y la altura que alcanza el agua en el mismo (Figura 3.25).

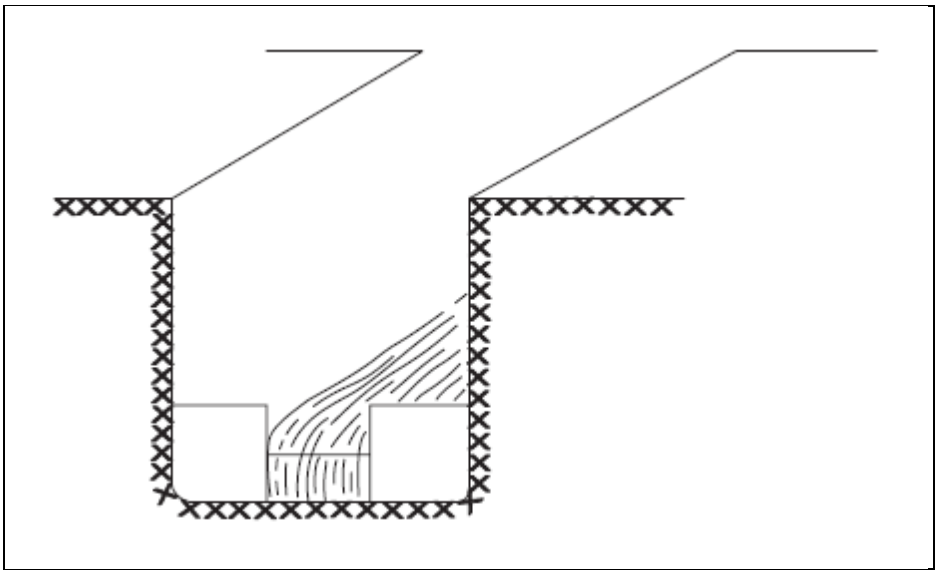


Figura 3.25 Vertedor

3.2 Drenaje superficial

Se entiende por drenaje a la extracción o desalojo del agua superficial o subterránea de una zona determinada por medios naturales o artificiales; utilizando para ello canales, desagües, zanjas o cunetas, alcantarillas y otros que permitan recoger y transportar el agua en exceso con la ayuda de un sistema de bombeo o por la fuerza de la gravedad.

El establecimiento de una red o sistema de drenaje, consiste en el conjunto de acciones que se llevan a cabo mediante la utilización de una serie de elementos materiales, con el fin de evitar o mitigar los daños que pueden causar las aguas pluviales en la mina y que van a incidir directamente en el buen desenvolvimiento de las operaciones mineras.

Para diseñar los elementos de una red de drenaje es necesario conocer el origen y la magnitud de los caudales máximos que pueden llegar a la red; es así como se

hará una descripción de los factores que generan los caudales, y se presentarán procedimientos de cálculo para la determinación de caudales de creciente; posteriormente se hará un análisis sobre las obras de drenaje y se darán recomendaciones para su diseño.

3.2.1 Consideraciones generales

El objetivo de la presente información es facilitar normas y recomendaciones para proyectar, construir y conservar adecuadamente los elementos de una red drenaje superficial de una carretera, rampa o cualquier otra superficie por donde circule o drene el agua. El drenaje superficial comprende:

La recogida de las aguas pluviales procedentes de la plataforma y sus márgenes, mediante cunetas y sumideros.

La evacuación de las aguas recogidas, eventualmente a través de arquetas y colectores longitudinales, a cauces naturales, a sistemas de alcantarillado o a la capa freática, bien sea directamente, bien sea a través de obras de desagüe transversal o canalizaciones a cielo abierto o enterrado.

La restitución de la continuidad de los cauces naturales interceptados por la carretera, mediante su eventual acondicionamiento y la construcción de obras de drenaje transversal.

3.2.2 Factores que influyen en el drenaje superficial

Son básicamente dos: factores de la lluvia y factores de la cuenca. Los factores de la lluvia son: duración, intensidad, frecuencia y patrón.

La duración (t), es el período de análisis. Las lluvias de corta duración, conocidas también como tormentas, son eventos que por lo general tienen duraciones entre 5 minutos y 24 horas, y se utilizan para el cálculo de crecientes.

La intensidad (i), se define como el volumen de precipitación por unidad de tiempo. Se expresa en milímetros por hora (mm/h).

La frecuencia (f), es una medida de la probabilidad de ocurrencia de eventos mayores o iguales que el que se analiza. Generalmente se relaciona con el período de retorno (Tr). Por ejemplo, el aguacero que tiene una frecuencia del uno por mil tiene una probabilidad de ser igualado o excedido una vez cada mil años en promedio. Para este aguacero el período de retorno es de mil años.

La variación temporal o patrón, está representada por el histograma de la lluvia. La duración del aguacero se divide en "n" intervalos iguales, y a cada intervalo le corresponde una parte de la precipitación total.

Los factores de la cuenca son: la morfometría, el suelo y su uso y la capacidad de regulación o almacenamiento.

La morfometría, se refiere a las características físicas de la cuenca vertiente. Las principales son el área, la longitud del cauce principal, la forma, la pendiente del cauce y la pendiente de la ladera.

El suelo y su uso, tienen importancia en lo que hace relación con la capacidad de infiltración y con los estimativos de evapotranspiración.

La capacidad de regulación por almacenamiento, tiene que ver con los tipos de almacenamiento que predominan en la cuenca; por ejemplo, concentrados en embalses, o repartidos en las corrientes de drenaje o en los depósitos subterráneos.

3.2.3 Cálculos de los caudales de referencia

El método de estimación de los caudales asociados a distintos períodos de retorno depende del tamaño y naturaleza de la cuenca aportante.

Para cuencas pequeñas son apropiados los métodos hidrometeorológicos contenidos en la presente instrucción, basados en la aplicación de una intensidad media de precipitación a la superficie de la cuenca, a través de una estimación de su escorrentía. Ello equivale a admitir que la única componente de esta precipitación que interviene en la generación de caudales máximos es la que escurre superficialmente. En las cuencas grandes estos métodos pierden precisión y, por tanto, la estimación de los caudales es menos correcta; pero por otra parte, en estas cuencas suele disponerse de información directa sobre niveles o caudales de avenidas. La frontera entre cuencas grandes y pequeñas, corresponde aproximadamente a un tiempo de concentración igual a seis horas.

La naturaleza de la cuenca aportante influye en los métodos hidrometeorológicos, según que el tiempo de recorrido del flujo difuso sobre el terreno sea relativamente apreciable (plataforma de la carretera y márgenes que a ella viertan) o no (cauces definidos). Especialmente en zona urbana, representa una singularidad la presencia de sumideros que desagüen a una red de canalizaciones y que absorban una parte de la escorrentía. También representan casos especiales la presencia de lagos, embalses y planas inundables, que laminen o desvíen la escorrentía. Se podrán, asimismo, tener en cuenta aportaciones procedentes del deshielo de la nieve; salvo casos excepcionales, su contribución no se considerará superior al 10 por 100.

El resultado de los métodos hidrometeorológicos deberá, en lo posible, contrastarse con la información directa de que se disponga sobre niveles o caudales de avenida.

3.2.3.1 Fórmula de cálculo

El caudal de referencia Q en el punto en el que desagüe una cuenca o superficie se obtendrá mediante la fórmula:

$$Q = C \cdot A \cdot I/K \qquad (3.2)$$

Dónde:

C= el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.

A= su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.

I= la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.

K= un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 % en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Su valor está dado por la tabla 2.1.

Tabla 3.1 Valores de K

Q en	A en		
	Km^2	Ha	m^2
m^3/s	3	300	3.000.000
l/s	0,003	0,3	3.000

3.2.3.2 Intensidad media de precipitación

La intensidad media It (mm/h) de precipitación a emplear en la estimación de caudales de referencia por métodos hidrometeorológicos se podrá obtener por medio de la siguiente fórmula:

$$\frac{28^{0.1} - T^{0.1}}{28^{0.1} - 1^{0.1}} = \frac{(It/Id)}{(I1/Id)} \qquad (3.3)$$

Dónde:

Id (mm\h): la intensidad media diaria de precipitación, correspondiente al período de retorno.

Pd (mm): la precipitación total diaria correspondiente a dicho período de retorno, que podrá tomarse de los mapas contenidos en la publicación "Isolíneas de precipitaciones máximas previsibles en un día", de la Dirección General de Carreteras, o a partir de otros datos sobre lluvias, los cuales deberán proceder preferentemente del Instituto Nacional de Meteorología.

I1 (mm/h): la intensidad horaria de precipitación correspondiente a dicho período de retorno.

t (h): la duración del intervalo al que se refiere I, que se tomará igual al tiempo de concentración.

3.2.3.3 Tiempo de concentración

En el caso normal de cuencas en las que predomine el tiempo de recorrido del flujo canalizado por una red de cauces definidos, el tiempo de concentración T(h)

relacionado con la intensidad media de la precipitación se podrá deducir de la fórmula:

$$T = 0{,}3 \cdot [(L/J^{1/4})^{0{,}76}] \quad (3.4)$$

Dónde:

L (km): la longitud del cauce principal.
J (m/m): su pendiente media.

Si el tiempo de recorrido en flujo difuso sobre el terreno fuera relativamente apreciable, como es el caso de la plataforma de la carretera y de los márgenes que a ella vierten, la fórmula anterior no resulta aplicable. Si el recorrido del agua sobre la superficie fuera menor de 30 m, se podrá considerar que el tiempo de concentración es de cinco minutos. Este valor se podrá aumentar de cinco a diez minutos al aumentar el recorrido del agua por la plataforma de treinta (30) a ciento cincuenta (150) m.

3.2.3.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente C de escorrentía define la proporción de la componente superficial de la precipitación de intensidad I, y depende de la razón entre la precipitación diaria Pd correspondiente al período de retornoy el umbral de escorrentía Po a partir del cual se inicia ésta.

Si la razón Pd/Po fuera inferior a la unidad, el coeficiente C de escorrentía podrá considerarse nulo. En caso contrario, el valor de C podrá obtenerse de la fórmula:

(3.5)

$$C = \frac{[(Pd/Po) - 1] \times [(Pd/Po) + 23]}{[(Pd/Po) + 11]^2}$$

Dónde:

Pd = Precipitación diaria

Po = Umbral de escorrentía

Las cuencas heterogéneas deberán dividirse en áreas parciales cuyos coeficientes de escorrentía se calcularán por separado.

El umbral de escorrentía Po se podrá obtener de la tabla 3.2, multiplicando los valores en ella contenidos por el coeficiente corrector dado. Este coeficiente refleja la variación regional de la humedad habitual en el suelo al comienzo de aguaceros significativos, e incluye una mayoración (del orden del 100 %) para evitar sobrevaloraciones del caudal de referencia a causa de ciertas simplificaciones del tratamiento estadístico del método hidrometeorológico, el cual ha sido contrastado en distintos ambientes de la geografía española.

También es necesario considerar los otros factores que influyen en el dimensionamiento de un sistema de drenaje, pues no toda la lluvia que cae sobre un área determinada se escurre inmediatamente, parte de ella se infiltra y parte queda retenida en las hojas de los árboles y otras plantas y sólo lentamente alcanza la superficie del suelo.

Tabla 3.2: Estimación inicial del umbral de escorrentía Po (mm)

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE (%)	UMBRAL DE ESCORRENTÍA (mm)
Rocas permeables	>3	3
	<3	5
Rocas impermeables	>3	2
	<3	4
Firmes granulares sin pavimento		2
Adoquinados		1,5
Pavimentos bituminosos o de hormigón		1

3.2.4 Drenaje de la plataforma o vía

El drenaje superficial deber proyectarse como una red o conjunto de redes que recoja la escorrentía superficial y, en algunos casos, las aguas subterráneas procedentes de la plataforma de la carretera y de los márgenes que viertan hacia ella, y las conduzca a un desagüe. Además del costo, deben tenerse en cuenta factores como:

Topográficos, donde figuran la altitud, posición de la explanación respecto al terreno contiguo, espacio disponible, origen y posible punto de desagüe de cada red, situación de obras de drenaje transversal o de paso previsto o necesario, transiciones de peralte, puntos altos y bajos.

Climatológicos, es decir el régimen seco con chubascos, régimen de lluvias continuas.

Hidrológicos, con la presencia, nivel y caudal de aguas subterráneas, aportación y desagüe de aguas superficiales, escorrentía.

Geotécnicos, la naturaleza y condiciones de los suelos, posibilidad de corrimientos y erosión, permeabilidad.

Se procura definir tramos homogéneos, en relación con estos factores, a los que se pueda dotar de redes de drenaje superficial del mismo tipo. Se debe prestar especial atención a la posibilidad de modificar el trazado donde la inclinación de la línea de mínima pendiente de la plataforma resulte muy baja y tenga repercusiones en algunos elementos del drenaje superficial tales como en las cunetas. Se recomienda elegir soluciones que, además de eficientes, sean sencillas, robustas y de fácil mantenimiento.

Donde se considere aconsejable, debe comprobarse que el drenaje superficial de la plataforma y sus márgenes funciona satisfactoriamente también en régimen transitorio.

Al proyectar la sección transversal de la plataforma de la carretera, tanto en su geometría como en su constitución, debe tenerse en cuenta su red de drenaje superficial. La escorrentía superficial, en flujo difuso, debe ser recogida y evacuada en general por cunetas longitudinales que, al mismo tiempo, recogerán y evacuarán la de los márgenes de la carretera que desagüen hacia ésta. La línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no debe tener una inclinación inferior al 0,5 %.

El desagüe del drenaje superficial deber hacerse, en general, a donde y como iría normalmente el agua de no existir la carretera, o a cauces naturales o artificiales, dotados de las protecciones necesarias para evitar erosiones o sedimentaciones

perjudiciales, disponiendo si es preciso dispositivos de disipación de energía, especialmente donde se vierta en régimen rápido o sea preciso desviar un cauce. En particular, las aguas procedentes de desmontes no deberán verterse por los terraplenes contiguos sin disponer las cunetas o protecciones necesarias. Donde sea preciso desaguar por infiltración a un terreno permeable se distribuirá el caudal de forma que la velocidad sea reducida, para facilitar el proceso de desagüe.

3.2.5 Dispositivos de recogida y evacuación de aguas

3.2.5.1 Cunetas

Una cuneta es una zanja o canaleta longitudinal abierta en el terreno de manera paralela y junto a la plataforma o vía, que transportará las aguas a una velocidad suficiente para que los sedimentos no se depositen en ella. La cuneta tendrá igual pendiente longitudinal que la rasante de la carretera, salvo que se estime necesario ceñirse más al terreno o modificar dicha pendiente para mejorar la capacidad de desagüe. Los tipos de cunetas que se utilizarán son los indicados en la figura 3.26.

Las cunetas reducidas sólo podrán emplearse en terreno accidentado y deberán siempre cubrirse o protegerse con barreras de seguridad.

Las dimensiones y pendiente longitudinal de la cuneta deberán asegurar que, cuando desagüen el caudal de referencia se cumplan las condiciones generales expuestas sobre este tema. Si fueran de temer efectos perjudiciales por infiltración de las aguas de la cuneta, deberádisponerse de un drenaje profundo bajo la cuneta, y su superficie deberá impermeabilizarse revistiéndola con hormigón, piezas prefabricadas, encachados de piedra o materiales bituminosos.

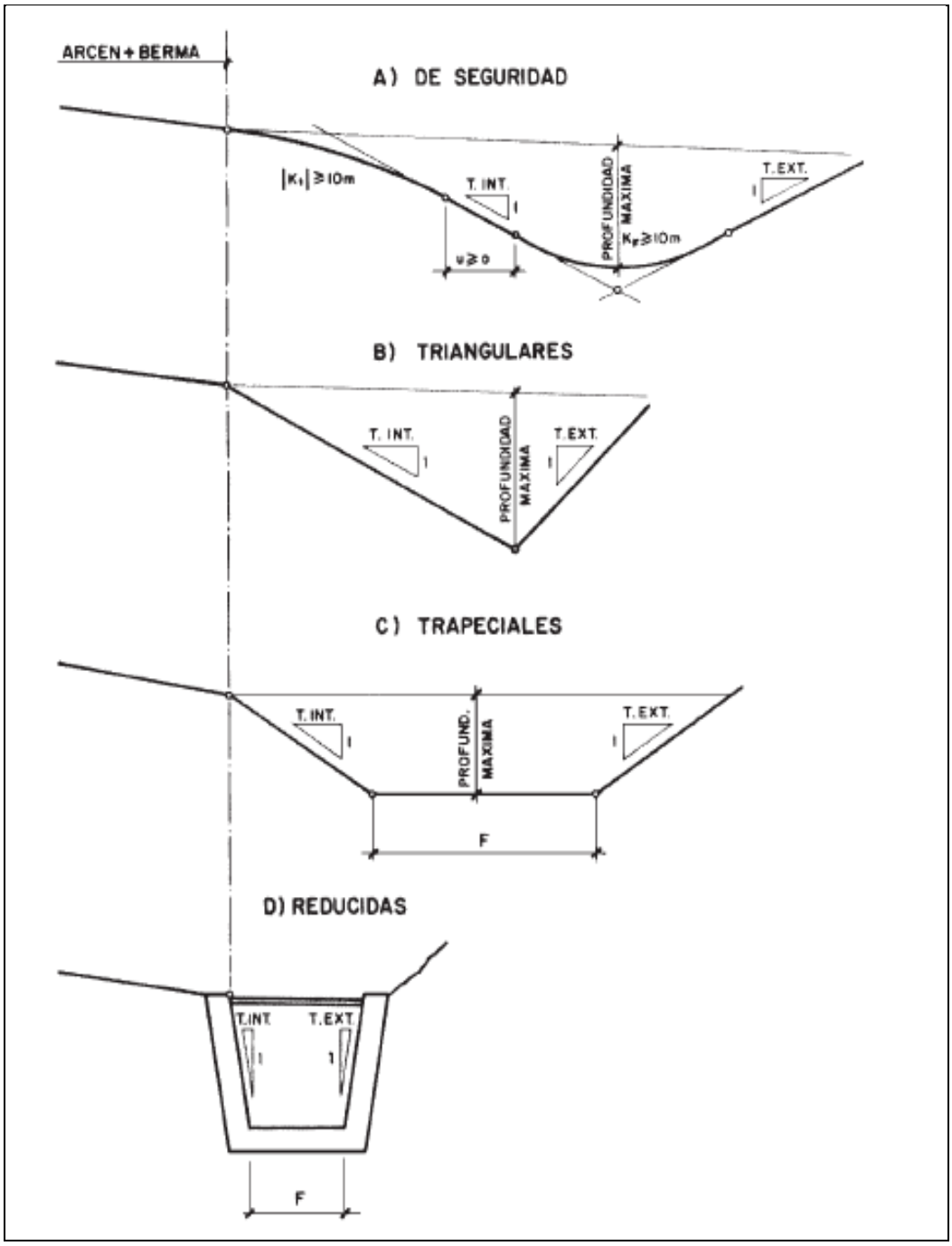


Figura 3.26 Tipos de cunetas.

La necesidad de revestimiento será mayor:

- ✓ Donde la velocidad del agua sea elevada; en zonas de clima de lluvia suaves se podráadmitir que una cuneta no es erosionada si su pendiente no rebasa el 4 %. En zonas de climamás irregular, dicho límite se rebajará hasta el 3 %.

- ✓ Donde la velocidad del agua sea muy baja y se produzcan sedimentaciones, se podrá admitir que esto ocurre donde la pendiente sea inferior al 1 %.

- ✓ Donde se desee evitar infiltraciones explanadas susceptibles, cunetas de guarda de un talud, protección de un acuífero, etc.

Los principales tipos de revestimiento son piedra partida, mezcla con piedra común, cemento (hormigón) y tubos de acero. Los más usados, debido al costo relativamente bajo y facilidad de implantación, son secciones circulares de cemento (hormigón) pre-fabricadas. También la siembra de especies herbáceas en las cunetas mejora sus condiciones de desagüe al aumentar tanto el tiempo de concentración, como el umbral de escorrentía, y protege contra la erosión. Podrán emplearse dispositivos (mallas biodegradables, topes) que eviten la erosión durante la nacencia de especies o plantas.

Para pendientes mayores de 7 % será preciso adoptar precauciones especiales contra la erosión, como disponer escalones para disipar la energía cinética del agua, protegiendo su pie para evitar socavaciones regresivas o revestir las cunetas.

El caudal proporcionado por una cuneta está dado por la siguiente expresión. Formula 3.6

$$Q = \mathrm{V} * \mathrm{A} \qquad (3.6)$$

Dónde:

Q = Caudal

V = velocidad del agua (m/s)

A = área de la sección mojada (m^2)

La velocidad del agua está dada por la «fórmula de Manning». Formula 3.7

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (3.7)$$

Dónde:

V = velocidad del agua (m/s)

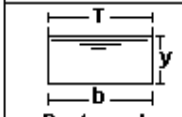
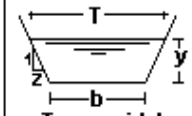
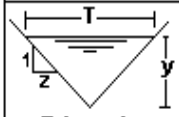
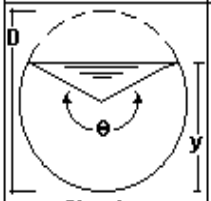
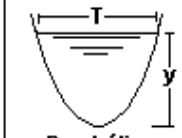
n = coeficiente de rugosidad del canal (no dimensional), tabla 3.4.

R = radio hidráulico (m) (área de la sección transversal/perímetro mojado), tabla 3.3

S = gradiente de la sección longitudinal del canal (%)

La tabla 3.4 suministra valores típicos de coeficientes de rugosidad del canal (n) para cunetas excavadas en el suelo y revestidas. Los gradientes típicos para cunetas longitudinales deben ser como mínimo de 2% para garantizar el escurrimiento, pero, con cunetas adaptadas a la forma de la superficie del terreno, pueden ser bastante más altos. La tabla 3.5 muestra valores máximos de velocidad de flujo que deben ser observados para evitar erosión de las cunetas no revestidas, en función del gradiente.

Tabla 3.3 Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\,\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$2/3\ Ty$	$T+\frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

3.2.5.2 Alcantarillas o colectores

Salvo justificación en contrario, los colectores estarán formados por tubos de materiales como: piezas prefabricadas de hormigón, fibrocemento, acero corrugado galvanizado.

Tabla 3.4 Coeficientes (n) de rugosidad típicos.

Tipo de canaleta	Coeficiente de rugosidad
Revestida con cemento (hormigón), terminación fina	0,015
Revestida con cemento (hormigón), terminación gruesa	0,013
Suelo excavado, recto, sección uniforme, sin vegetación	0,022
Suelo excavado, recto, sección uniforme, laterales cubiertos con césped	0,030
Suelo excavado, en curva o irregular, sección no uniforme, con arena o piedra en el fondo	0,030
Canal natural, recto, sin vegetación	0,030
Canal natural, en curva o irregular, sin vegetación	0,035
Canal natural, en curva o irregular, con vegetación	0,100

Deberán indicarse en el pliego de prescripciones técnicas particulares el tipo de junta a emplear entre tubos contiguos o entre estos y sus extremos o arquetas, y para cada tipo de tubo, las características de su asiento, espaldones y recubrimiento. Los tubos rígidos deberán ir apoyados sobre una superficie apisonada y limpia, preferentemente una cama de hormigón. Los tubos flexibles de acero corrugado deberán evitar apoyarse sobre lechos rígidos y requieren una compactación cuidadosa

y simétrica de sus espaldones, así como evitar que se aplasten durante la construcción.

Tabla 3.5 Valores máximos de velocidad del flujo para evitar la erosión.

Tipo de fondo	Vel. máxima (m/s)	Inclinación (%)
Arcillo-arenoso	0,75	0,5
Arcillo-siltoso	0,90	1,0
Arcilloso	1,20	2,0
Mezcla de arcilla y pedrisco	1,50	2,5
Roca	2,40	4,0

El recubrimiento de los tubos deberá ser suficiente para evitar daños en ellos al paso de la circulación. Si fuera necesario se preverán dichos recubrimientos para el paso provisional de vehículos de obras.

Las secciones de los conductos o alcantarillas para evacuar los caudales de diseño, pueden ser obtenidas, utilizando los mismos principios de los cálculos para el caudal de las cunetas, realizando una relación entre la fórmula normal del cálculo del caudal (formula 3.6) y la del área, tal como se indica en la fórmula 3.8.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{\Pi * d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4Q}{V * \Pi}} \quad (3.8)$$

Dónde:

d = diámetro de la sección del conducto (cm)

Q = caudal

V = velocidad del agua (m/s)

En ningún caso, estos conductos o colectores deberán tener diámetros inferiores a 30 cm, recomendándose que los menores sean de 40 cm de diámetro. Deberá estudiarse la posibilidad de formación de depósitos calizos u otros, y en ese caso habrá que dejar previsto el colector para su limpieza con agua a presión. Se evitarán en los colectores los puntos bajos o tramos con poca pendiente, favorables al depósito de sedimentos, salvo que resulten inevitables.

Los tubos o colectores son muy utilizados sobre todo en pequeñas obras de drenaje transversal y deben mantener las consideraciones que a continuación se especifican.

- ✓ Con respecto a su ubicación en planta: con independencia de la sinuosidad del cauce natural, una pequeña obra de drenaje transversal suele cruzar la carretera con una planta recta en la zona de explanación, normal o desviada respecto de su eje (figura 3.27). La implantación mejor es la coincidente con el cauce natural; pero si ello resultase en una longitud excesiva del conducto, podrá modificarse el cauce, pero esto ha de hacerse sin cambios bruscos de alineación, porque de lo contrario, las conexiones con la obra de desagüe podrán resultar desfavorables, por ejemplo: una curvatura fuerte tiende a erosionar y sedimentar los márgenes exterior e interior, respectivamente, del recodo (esto desaconseja situar la entrada en el interior del mismo, especialmente en conductos múltiples); un cambio brusco de dirección a la salida puede producir desbordamientos e inundación de las zonas colindantes, aumenta la probabilidad de aterramientos en el interior del conducto, puede erosionarse el pie de la explanación de la carretera. En cursos de agua permanente en los que la obra de drenaje transversal se implante en su cauce, se tendrá en cuenta el mantenimiento de la corriente, por ejemplo mediante un desvío provisional.

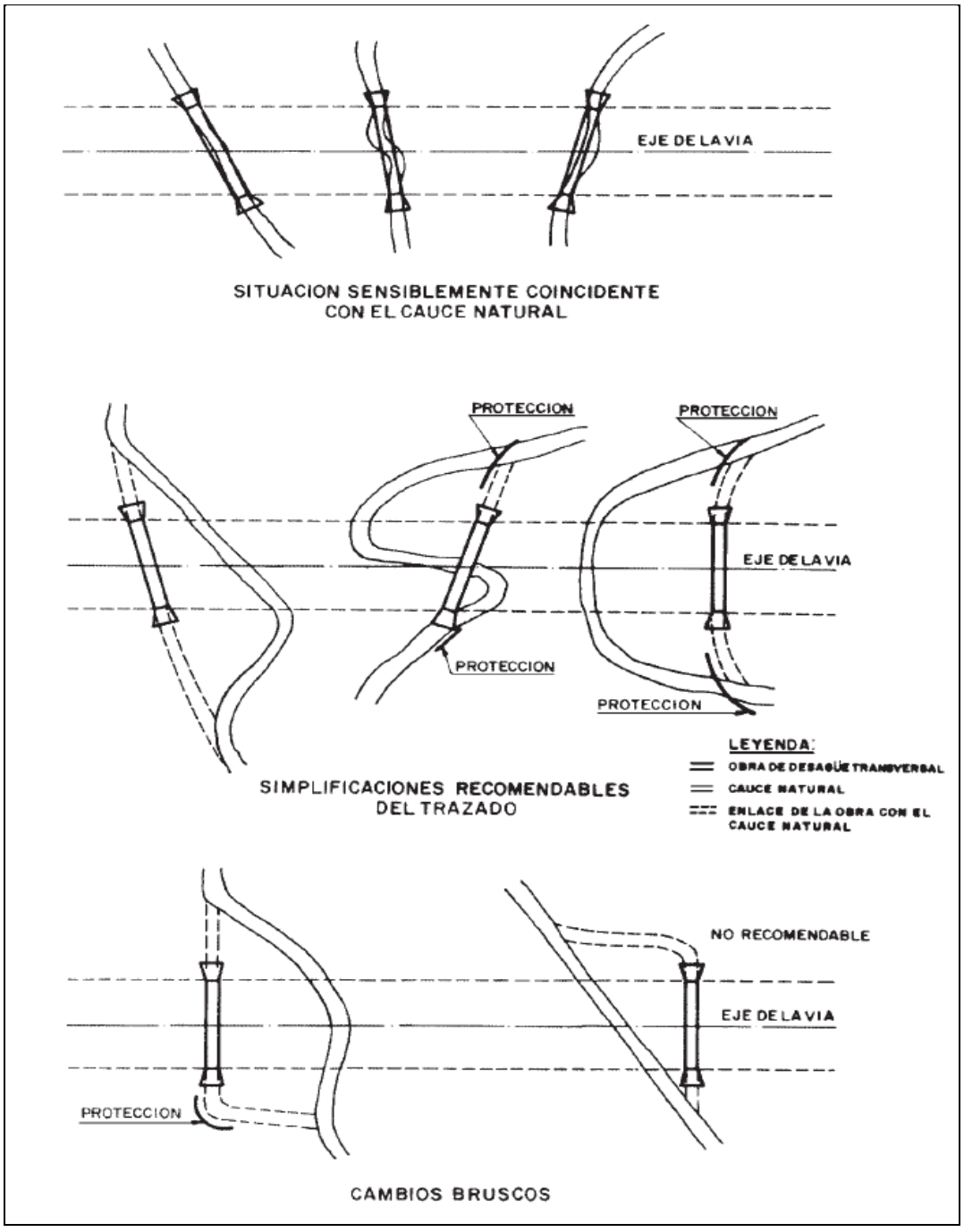


Figura 3.27 Vista en planta de tubos para pequeñas obras de drenaje transversal.

- ✓ Con respecto a su perfil: la mayoría de las pequeñas obras de drenaje transversal se ajustan al perfil del lecho del cauce y, en general, los eventuales cambios van asociados a un acortamiento del trazado en planta que genera un incremento de la pendiente.

Aunque el perfil puede tener cierta influencia en las condiciones de desagüe, se suele relacionar no siempre justificadamente con problemas de aterramiento por insuficiencia dependiente y de erosión por exceso de ella. Aun con fuertes pendientes, se recomienda que el perfil de las pequeñas obras de drenaje transversal se ajuste al del cauce (o a una rectificación en planta de este). Sólo si se comprobase la presencia de problemas de importancia (por ejemplo, deslizamiento de la obra, erosiones a la salida, etc.), se recurrirá a diseños más complejos (rebaje de la entrada, caídas a la salida, etc.), comprobando que se logran las ventajas pretendidas al paso del caudal de referencia. Para reducir la velocidad a la salida del conducto puede resultar ventajoso el empleo de tubos corrugados, o escalonar bien sea el terreno o el conducto, mediante la colocación de bajantes. En perfiles de escasa pendiente, podrá estimarse el riesgo de aterramiento.

- ✓ Con respecto a su sección: se procurará respetar las dimensiones del cauce natural y no provocar fuertes estrechamientos. A estos efectos podrá considerarse que la anchura de un conducto circular es igual al 60 % de su diámetro, por lo que no resulta adecuado para cauces muy amplios, a veces se recurre a un sobredimensionamiento (figura 3.28).

La mínima dimensión de una pequeña obra de drenaje transversal no deberá ser inferior a la siguiente, en función de su longitud. Tabla 3.6.

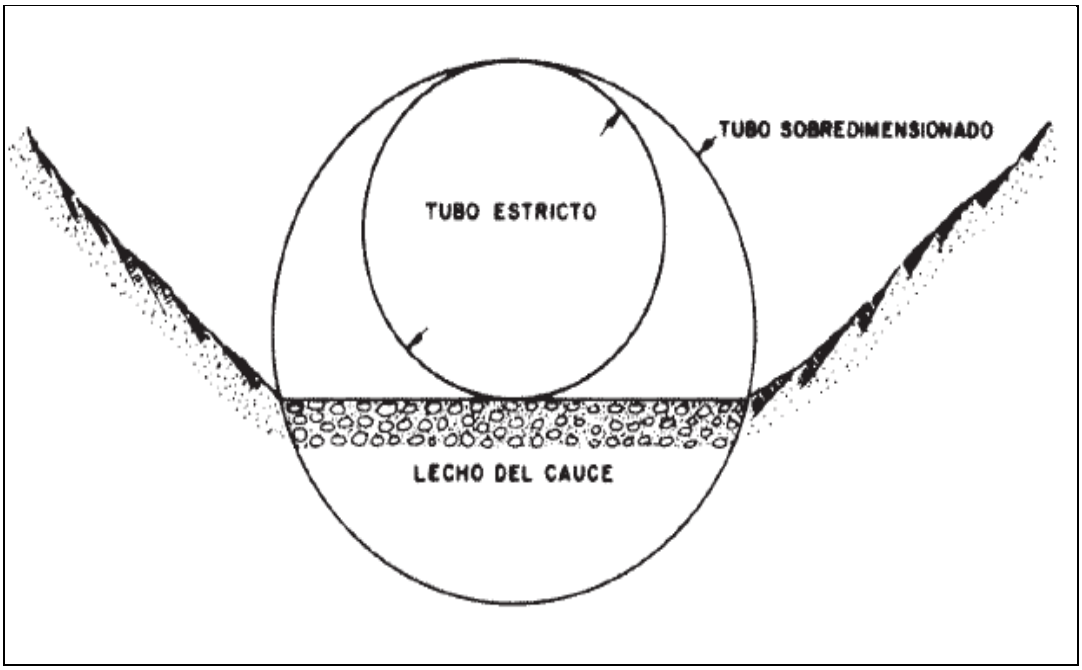


Figura 3.28 Tubo sobredimensionado y enterrado para respetar el ancho del caucenatural.

Tabla 3.6: Dimensión mínima de un tubo en función de su longitud.

Longitud (m)	3	4	5	10	15	
Mínima dimensión (m)	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8

✓ Con respecto a su embocadura o entrada: es la que permite acoplar el conducto o tubo al terreno, tanto del cauce como de la carretera. Su disposición influye en las condiciones de desagüe. Donde la embocadura se sitúe bajo un terraplén, el conducto podrá estar acoplado al mismo de la siguiente manera, (figura 3.29).

✓ Acoplarse al talud: esta disposición es frecuente con tubos metálicos, debe protegerse su perímetro contra la erosión.

✓ Quedar exento del talud: esta solución no sólo tiene mal aspecto, sino que es desaconsejable si no se toman medidas para evitar sifonamientos y erosiones.

✓ Terminar en un plano vertical, generalmente paralelo a la carretera, que obliga a disponer un elemento de contención del talud (muro de acompañamiento o aletas). El ángulo de las aletas con la corriente en la embocadura de entrada deberá estar comprendido entre 15º y 75º. Si el conducto no fuera perpendicular al eje de la carretera, deberán acoplarse las aletas (tanto a la entrada como a la salida) a los taludes del terraplén, para evitar aterramientos o erosiones.

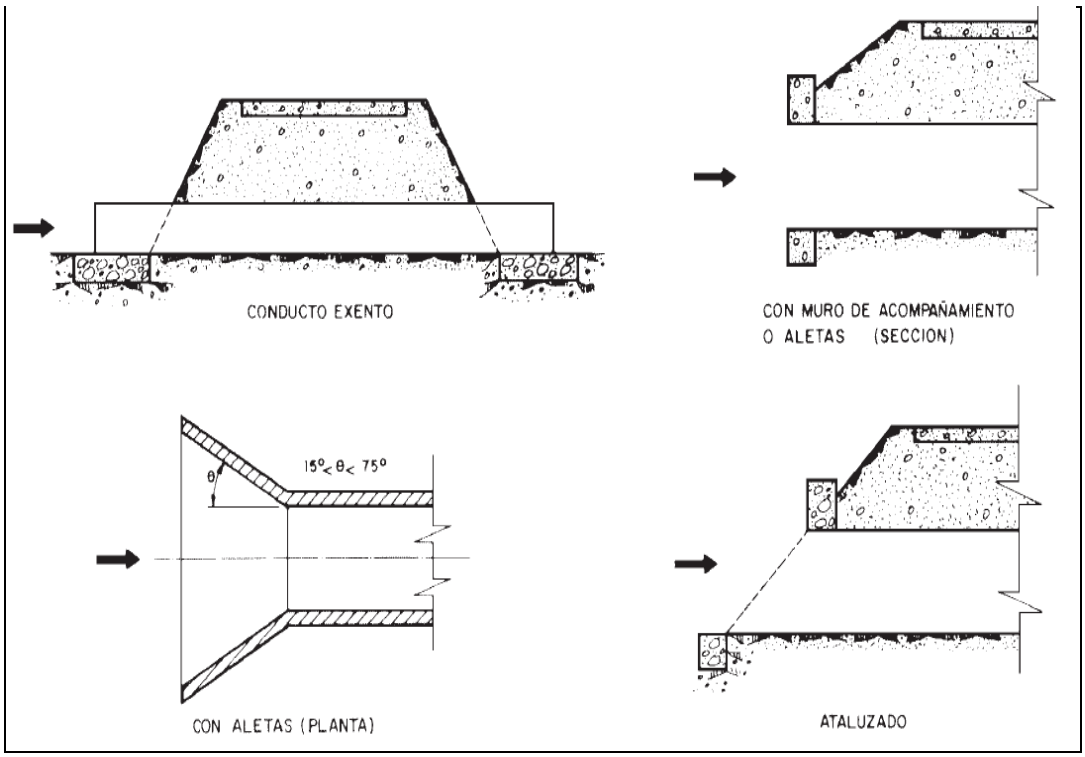


Figura 3.29 Tipo de embocadura bajo terraplén.

3.2.5.3 Diques o lagunas de sedimentación y trampas de sedimentos

Es importante controlar la cantidad de sedimentos producidos en la mina para evitar que sean transportados hacia los cursos de agua natural.

La función de una cuenca de decantación es promover la sedimentación de las partículas sólidas transportadas por las aguas de drenaje antes de verterlas al cuerpo receptor. Las partículas más gruesas decantarán más rápidamente que las partículas finas, de modo que la cuenca debe ser dimensionada en función de la granulometría del material trasportado. Con la finalidad de evitar el transporte de sedimentos se implementarán dos tipos de dispositivos.

- ✓ Trampas de sedimentos: éstos dispositivos (Figura 3.30), deberán estar ubicadas en las laderas en la propia área minera. Los mismos constituyen la primera fase de control de sedimentos disminuyendo la cantidad vertida en las lagunas. Este dispositivo está constituido esencialmente por un sumidero, en el interior del cual se coloca un colector cilíndrico vertical para el agua con menor cantidad de sedimentos.

- ✓ Lagunas de sedimentación o dique: estas constituyen la segunda fase del sistema de control de sedimentos. Un dique (Figura 3.31), es una estructura capaz de almacenar el agua por una cierta cantidad de tiempo, de manera que los sedimentos más pesados se vayan al fondo permitiendo la clarificación del agua.

Las medidas antes mencionadas operan bajo el principio de la diferencia de peso específico entre el agua y el material sólido.

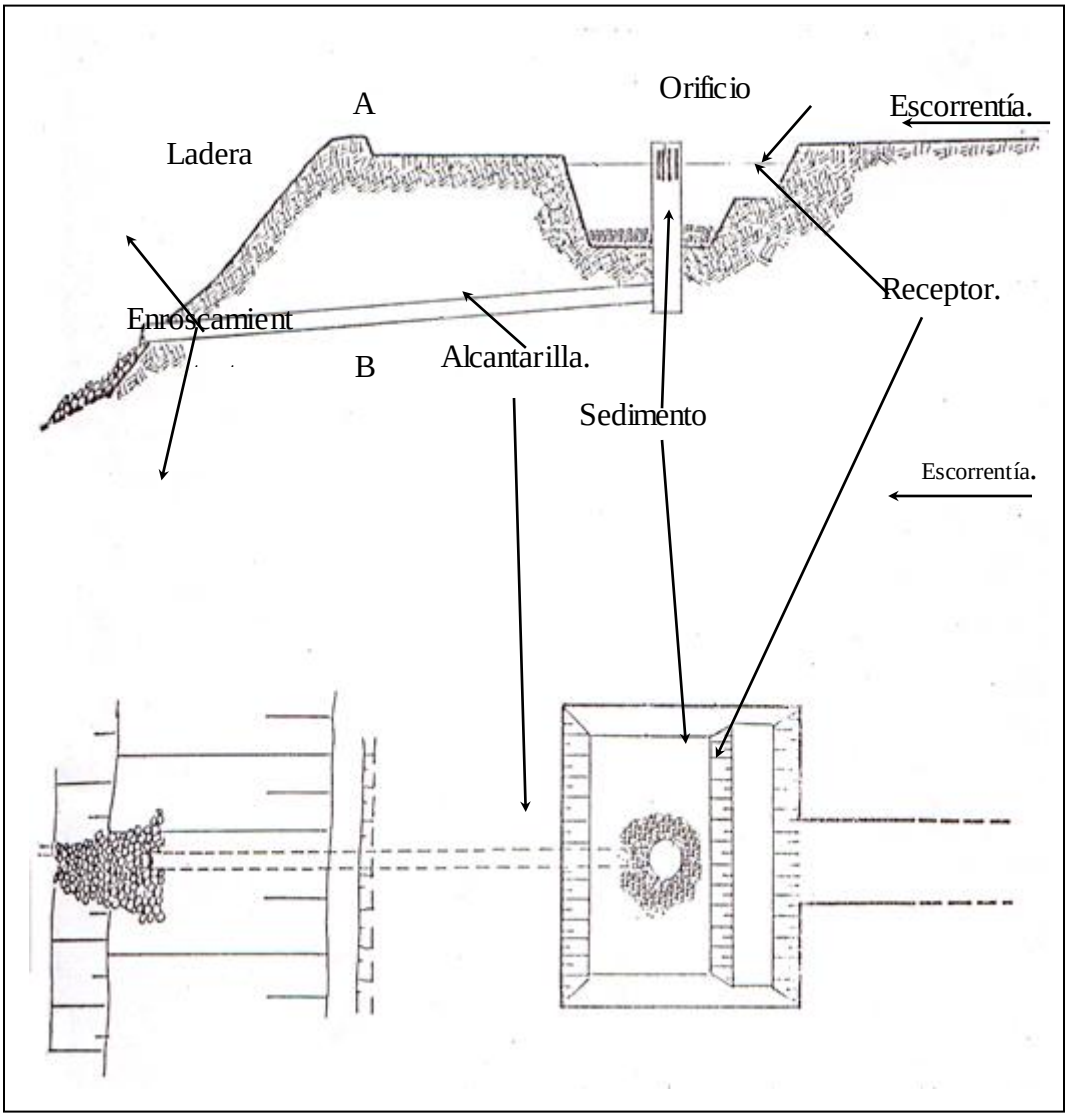


Figura 3.30 Trampa de sedimentos: A) Sección vertical, B) Vista en planta

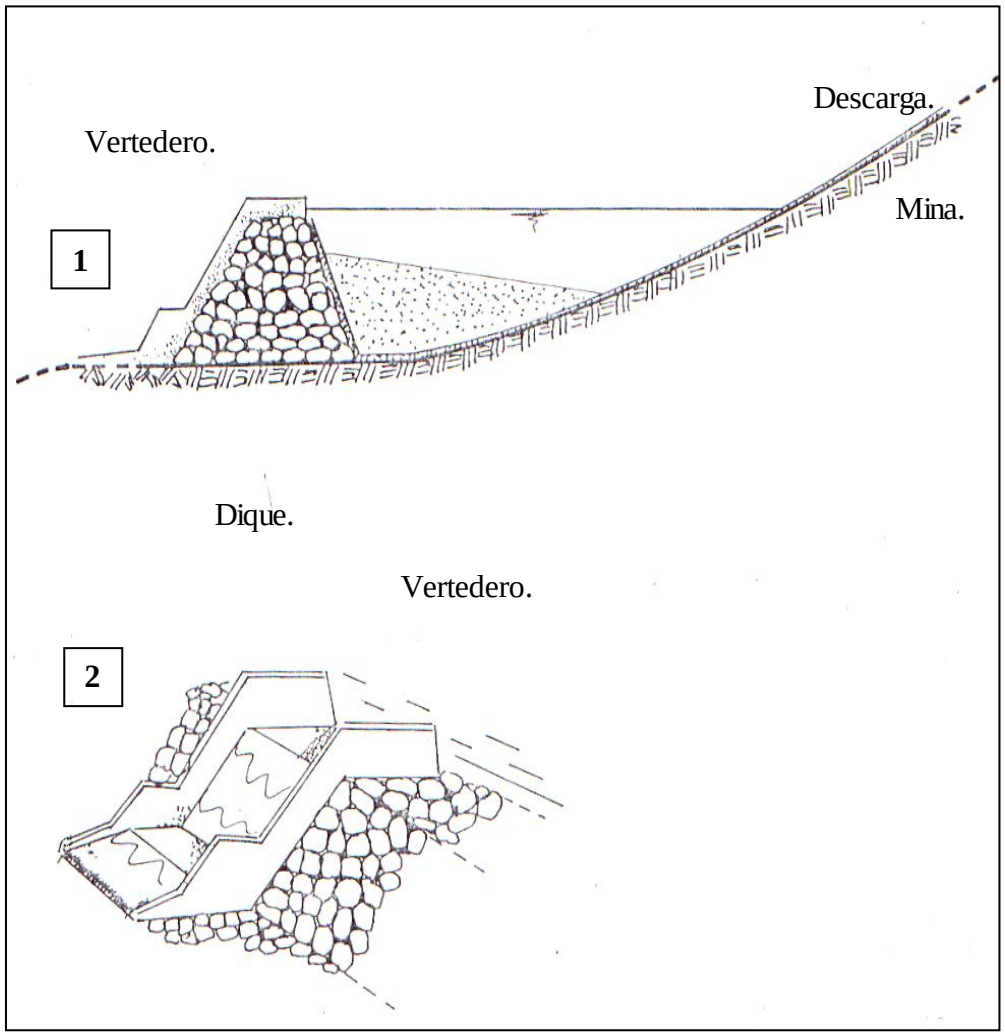


Figura 3.31 Laguna de sedimentación o dique: 1) Sección Vertical, 2) Detalle del dique.

CAPITULO IV
METODOLOGÍA DE TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es de tipo descriptiva, ya que consiste en conocer la situación predominante a través de la descripción exacta de las actividades. En esta investigación se propone realizar un sistema de drenaje en las minas Las Pailas y Los Barrancos; esto a base de la recolección de datos, estudio de la información y análisis de los resultados obtenidos a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación empleada es de campo ya que se realiza en el propio sitio donde se encuentra el objeto de estudio. Se parte de un conocimiento previo del tema apoyándose en material documental o bibliográfico, pues esto permite el conocimiento más a fondo de la investigación y se pueden manejar los datos con más seguridad.

4.3 Flujograma

A continuación se muestra el flujograma de las diferentes actividades que se van a seguir en el desarrollo de la presente investigación. (Figura 4.1).

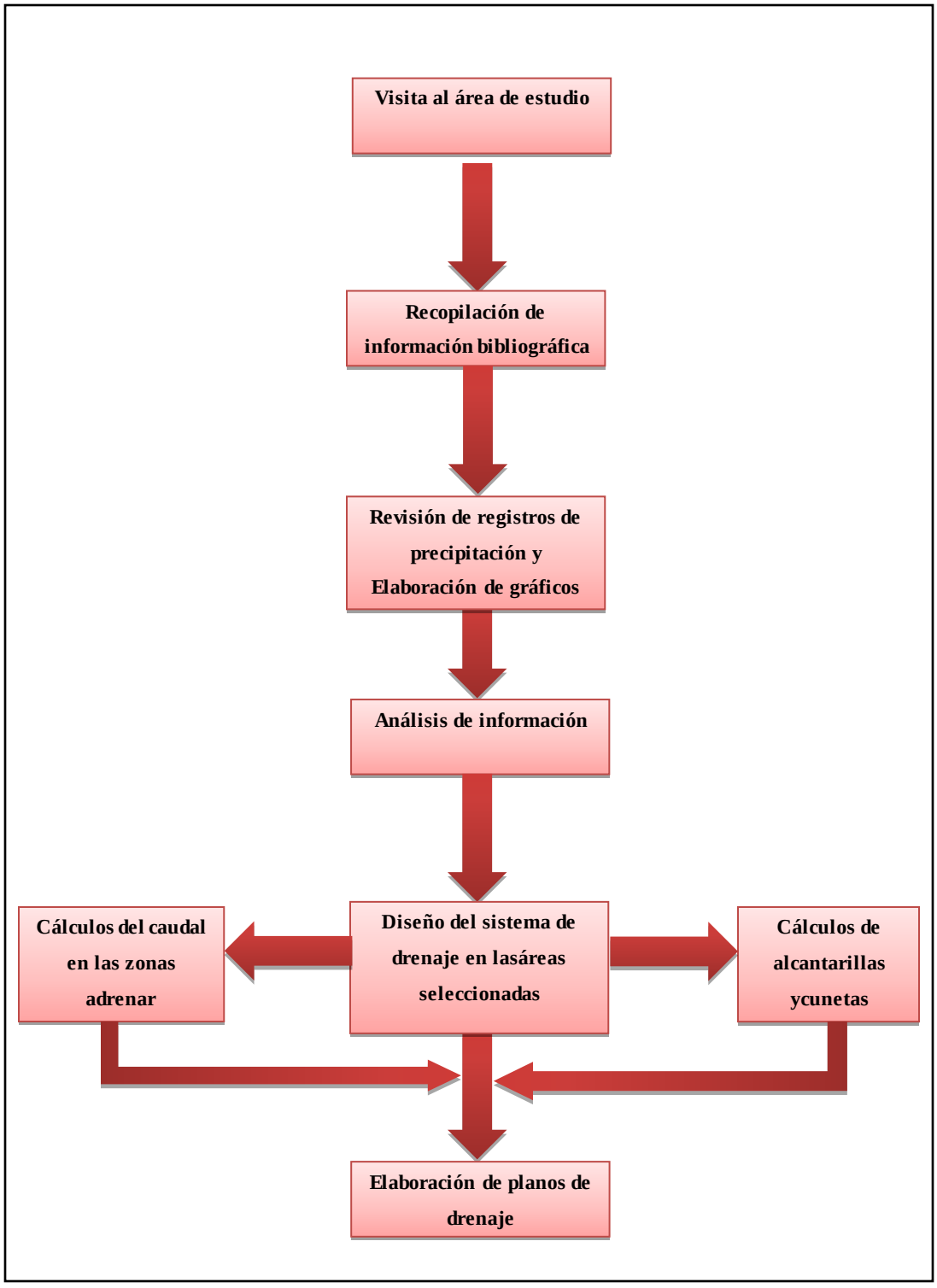


Figura 4.1 Flujograma de actividades

4.3.1 Visita al área de estudio

Una vez planteado el tema de investigación y delimitado el área de estudio se procedió a realizar varias visitas a las minas Las Pailas y Los Barrancos con la finalidad de observar los frentes de excavación, las vías de acceso y acarreo, las zonas donde se concentran las aguas provenientes de las lluvias, las áreas hacia donde pueden ser lanzadas las aguas de escorrentías, en general para tener una visión global de la situación que presentan dichas minas con respecto al drenaje.

4.3.2 Recopilación de información bibliográfica

Luego de visitar las áreas de estudio, se procedió a la recopilación de material bibliográfico y registros de interés para el análisis de la situación; para esto se consultaron varias fuentes que contienen información y que contribuyen a la realización de este trabajo, las cuales son: libros, tesis, informes, internet, etc. También se revisaron los planes de drenajes de años anteriores realizados por la Jefatura de Área de Planificación y Desarrollo de Minas de C.V.G Ferrominera Orinoco, con el propósito de ver como se ha venido manejando la situación y de cómo abordarla actualmente.

4.3.3 Revisión de registros de precipitación y elaboración de gráficos

Para la implantación de este sistema de drenaje se hizo una revisión de registros de pluviosidad, que son muy importantes ya que por medio de ellos se conoce el comportamiento de las lluvias en la zona a tratar. Esta información se obtuvo de la base de datos hidrometeorológicos de la empresa CORPOELEC, y partiendo de estos datos se realizó la graficación de un periodo de 31 años, comprendidos desde 1980 hasta 2011. Estos gráficos sirvieron para obtener los valores que se utilizaran en los

cálculos del caudal aportante que circularía por las alcantarillas y cunetas. Ver Apéndice (Tabla A.1)

4.3.4 Análisis de la información

En esta etapa, una vez obtenida toda la información anterior que es básica y constituye el punto de partida del estudio, se procedió a organizar la información y estudiar la manera cómo abordar la situación que tenemos en el presente con el firme propósito de introducirle modificaciones para transformarla a la situación deseada, es decir para poder lograr el objetivo del trabajo.

De esta manera se establecieron los cálculos, gráficos, apoyo en el marco teórico y comparaciones pertinentes, a fin de lograr todos los conocimientos necesarios que sirven como base para poder establecer las pautas, conclusiones y recomendaciones que rigen la alternativa que se propone en este trabajo.

4.3.4.1 Diseño del sistema de drenaje en las áreas seleccionadas

En esta etapa se determinan las principales actividades a desarrollar para el diseño del sistema de drenaje en las minas, como lo son: mantener el piso regular en los niveles de explotación, conservando la cota de acuerdo a los levantamientos topográficos, para evitar superficies irregulares (rim, desniveles, huecos) y así minimizar los inconvenientes en las épocas de lluvias que afectan la operatividad y ocasionan demoras.

Construcción de cunetas a medida que avanza el desarrollo de las minas.

Corregir y mantener el peralte, y las cunetas tanto en los niveles de excavación como en las rampas de las minas, con la finalidad de canalizar las aguas de escorrentías.

Realizar colocación, reposición y mantenimiento de alcantarillas dependiendo del caso que se presente.

Mantener el sistema de drenaje en las minas para evitar que se deteriore las vías de acceso, rampas, taludes, línea férrea y otras instalaciones presentes en las mismas.

Hacer el mantenimiento del drenaje en las zonas de rellenos, depósitos y botaderos para evitar la sobrecarga por efectos de humedad que ocasionan desprendimientos y arrastre de sedimentos.

4.3.4.2 Cálculos de caudal en las zonas a drenar

Corresponde al cálculo del caudal de las aguas de escorrentía, que van a drenar por el área de las minas y que son necesarias desalojar o manejar de tal manera de mitigar la afectación a las operaciones mineras. Para ello la mina Las Pailas se considerara como una sola área y la mina Los Barrancos se dividió en áreas por su gran extensión (Ver anexo 1), se calculóel área de cada zona, luego utilizando lafórmula del método racional y los fundamentos que se exponen en el capítulo 3.2.3, se procedió al cálculo del caudal respectivo. Se utilizó la fórmula 3.2

$$Q = C \cdot A \cdot I/K \qquad (3.2)$$

Dónde:

C= el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie drenada.

A= su área, salvo que tenga aportaciones o pérdidas importantes, tales como resurgencias o sumideros, en cuyo caso el cálculo del caudal Q deberá justificarse debidamente.

I= la intensidad media de precipitación correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración.

K= un coeficiente que depende de las unidades en que se expresen Q y A, y que incluye un aumento del 20 % en Q para tener en cuenta el efecto de las puntas de precipitación. Ver tabla 2.1.

4.3.4.3 Colocación y cálculo del diámetro de las alcantarillas

En la mayoría de las áreas o sectores de la mina se requiere una vez que se canaliza o conduce el agua a través de las canales, desalojarlas a través de los conductos o alcantarillas, para lo cual se establece una forma de calcular su diámetro, utilizando los mismos principios que para el caudal de las cunetas, realizando una relación entre las ecuaciones normal del cálculo del caudal y la del área, tal como se indican en las fórmulas 3.6 y 3.8.

$$Q = \mathrm{V} * \mathrm{A} \quad (3.6)$$

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{\Pi * d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4Q}{V * \Pi}} \quad (3.8)$$

4.3.4.4 Colocación y cálculo de las cunetas

Consiste en el cálculo de la capacidad de los canales o cunetas, que van a garantizar el desagüe de las diferentes áreas y el adecuado recorrido en el sentido

establecido de las aguas desde los diferentes sectores de la mina hasta su destino apropiado; sobre todo estos son utilizados a lo largo de las diferentes rampas o vías de acceso, así como en los niveles de excavación (anexo 2). Su cálculo se hizo utilizando la formula normal para el cálculo del caudal. Se utilizó la fórmula 3.6.

$$Q = \mathrm{V} * \mathrm{A} \quad (3.6)$$

Dónde:

V = velocidad del agua (m/s)

A = área de la sección mojada (m^2)

La velocidad del agua está dada por la «fórmula de Manning». Fórmula 3.7

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (3.7)$$

Dónde:

V = velocidad del agua (m/s)

n = coeficiente de rugosidad del canal (no dimensional)

R = radio hidráulico (m) (área de la sección transversal/perímetro mojado). En la tabla 3.4 se muestran las secciones más utilizadas.

S = gradiente de la sección longitudinal del canal (%)

CAPITULO V
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

5.1 Drenaje de las minas las pailas y los barrancos

5.1.1 Mina las pailas

La mina Las Pailas está situado en el centro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro. Su altura máxima es de 700 m.s.n.m. Es de forma redondeada y la más pequeña del grupo, pero su tonelaje es apreciable (mínimo 80 millones de toneladas).

Los elementos de foliación tienen dirección N-S que corresponden a la de todo el grupo; las fallas y fracturas tienen rumbo N 60° O, y a pesar de constituir un sinclinal metido entre otras estructuras mayores de Los Barrancos, San Isidro y San Joaquín, ha mantenido una posición elevada al resistir la erosión. Las Pailas no sólo está en el centro, sino que sirve de enlace de todos los yacimientos del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro. Su ramal Norte-Oeste se prolonga y penetra en San Joaquín y el ramal Sur-Oeste penetra en San Isidro, tales ramales se considera como un anticlinal erosionado en su sección central.

5.1.2 Mina los barrancos

Es la mina más oriental y la de mayor extensión del Cuadrilátero. Su parte Sur forma un escarpe de falla (barranco) de unos 3 kilómetros en dirección E-0, con alturas variables entre 30 y 150 m sobre el nivel de la sabana circundante.

La mina Los Barrancos ha sido dividido en cinco zonas (A, B, C, D y E) debido a su gran extensión y a diferencias estructurales, que pudieran ser pseudo-cuerpos separados. Donde las zonas A y B forman parte del área denominada Los Barrancos I y las zonas C, D y E de Los Barrancos II, donde su altura máxima es de 790 m.s.n.m.,

y en superficie aflora la mena de costra, la cual recubre la mena friable. La Mina Los Barrancos es de estructura compleja y de una topografía bastante irregular.

En la Mina Los Barrancos I existen menas de hierro con aproximadamente 67% de Fe, 1% SiO2 y 0,5% AL203; donde la mena con un mínimo de 59% de Fe y un máximo de 11% SiO2 se considera de alto tenor.

En la Mina Los Barrancos II donde la mena de hierro más abundante contiene 66% de Fe, 1% de SiO2 y 1% de A1203; la mena de alto tenor contiene 57% mínimo de Fe y 11% máximo de SiO_2.

Actualmente se viene enfrentando la situación del drenaje de las minas mediante la implementación de planes de drenajes, donde se indican algunas actividades a seguir con la finalidad de solventar o corregir las situaciones anómalas más relevantes; lo cual viene a ser algo meramente correctivo, no profundizando en las medidas ni manejando la situación desde el punto de vista técnico, a través de cálculos y gráficos, que permitan prever, en cierto modo, los distintos acontecimientos y tomar las acciones preventivas contundentes al respecto.

En este sentido, se presenta un estudio para mejorar la atención a dicha situación, para ello se plantea implementar un sistema de drenaje, tomando como base los registros de la pluviosidad de la zona en cuestión, de manera de conocer la media histórica de las precipitaciones, basado en los volúmenes mensuales, la distribución durante todo el año y la frecuencia e intensidad de dichas precipitaciones; para luego realizar los cálculos respectivos del caudal, el diámetro de las alcantarillas, la sección de las zanjas o cunetas.

5.2 Precipitación del área de estudio

Para que el sistema de drenaje funcione satisfactoriamente durante todo el año o específicamente durante lluvias intensas se debe de disponer de informaciones pluviométricas del lugar estudiado y poder determinar el volumen de agua que circulará por las áreas de las minas. Este volumen se va a determinar por la altura en milímetros, centímetros o pulgadas que acusa el pluviómetro durante una lluvia o durante un periodo de tiempo determinado.

5.3 Registros de pluviosidad del área de estudio

Se tomó como base para este estudio la información suministrada por la empresa CORPOELEC, ya que Ferrominera Orinoco no posee una información completa al respecto. De tal manera que se pueden resumir los datos de pluviosidad en las tablas (5.1, 5.2, y 5.3) y figuras (5.1, 5.2, y 5.3) que se presentan posteriormente, donde se indican los valores de precipitación por año, mes y día respectivamente, registrados en el área durante el periodo comprendido entre 1980 y 2011, es decir un lapso de 31 años.

Tabla 5.1 Precipitación anual del Periodo 1980 – 2011, CORPOELEC.

Periodo 1980-2011	
Año	**mm Lluvia**
1980	2172,6
1981	1871,7
1982	1535,3
1983	1677,5
1984	1765,5
1985	1647,1
1986	1613,8
1987	1663,1
1988	2256
1989	1497,9
1990	2092,1
1991	1408
1992	1560,9
1993	1885,7
1994	1286,8
1995	1661,5
1996	1942,9
1997	1207,1
1998	1804,8
1999	1806,3
2000	1949,8
2001	1451
2002	1900,5
2003	**2569,7**
2004	1734,8
2005	2054,2
2006	1830,2
2007	1190,7
2008	1567,3
2009	740,5
2010	1660,1
2011	644,2
Total	**53649,6**
PROMEDIO ANUAL	**1676,55**

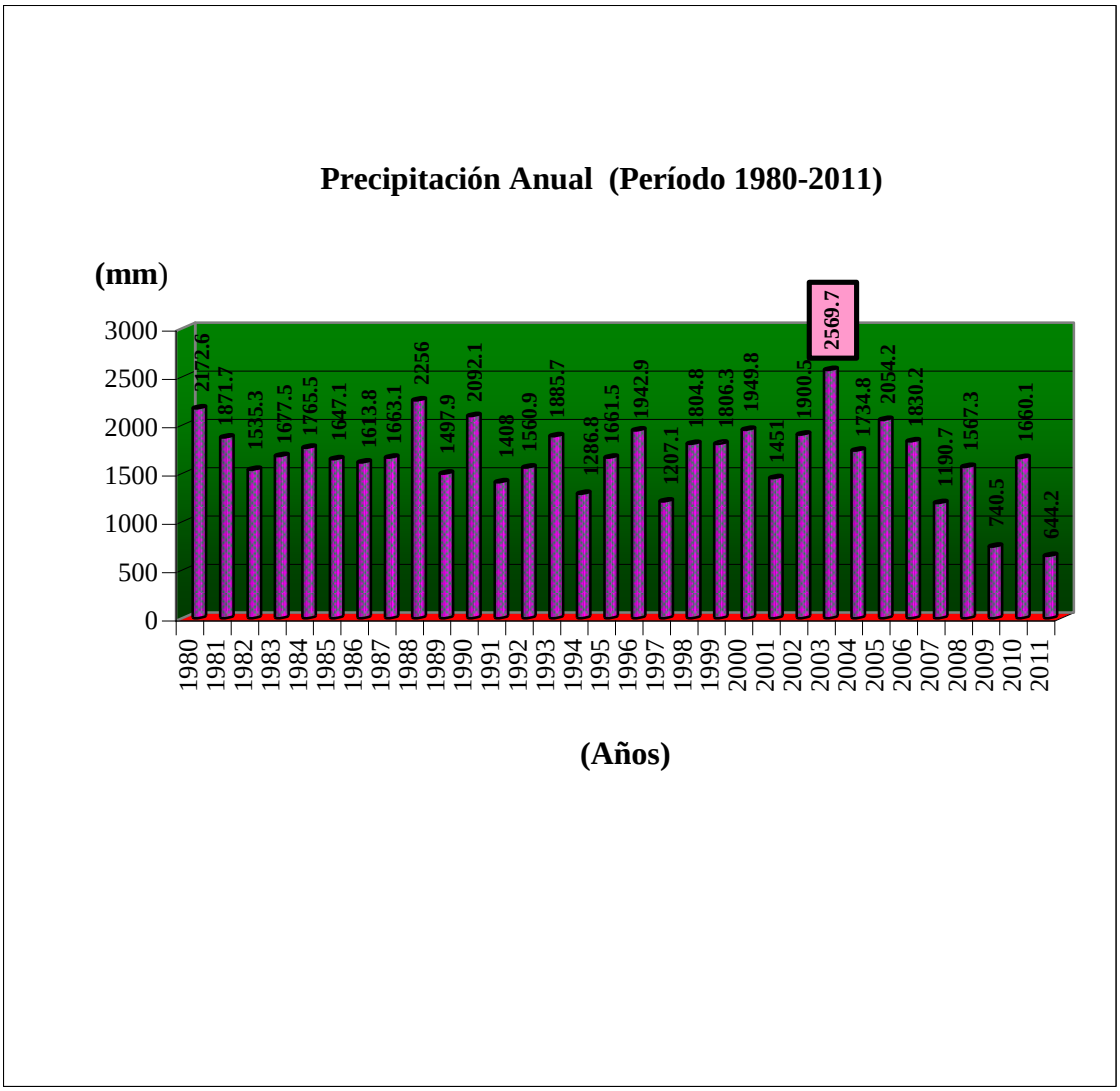


Figura 5.1 Gráfico de precipitación anual del periodo 1980 – 2011

Tabla 5.2 Precipitación mensual en el año más lluvioso (2003), CORPOELEC.

DÍA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	0	0	0	0	0,00	10,70	20,40	0,2	128	16,5	0
2	0	0	0	0	1	0,00	1,50	6,80	15,8	7,8	0	0
3	0,5	0	0	0	0,2	1,50	0,30	81,00	23,2	2,7	0	0
4	6,2	0	0	0	0	8,00	0,00	0,20	51	0	0,5	0
5	0	0	0	0	0	0,00	0,20	0,30	0	0	3,5	0
6	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	2	10,5	0	0
7	0	0	0	0	13,5	0,00	0,30	0,00	4,5	0	0	1
8	0	0	0	0	10	3,30	5,50	0,00	0	48,8	0,5	0
9	0	0,5	0	0	0,8	0,20	17,00	0,00	0	20,5	7	0
10	0	0	0	0	3,5	0,00	20,20	0,00	0	0,5	2,5	0
11	1,8	0	0	0	1,5	39,00	41,00	106,00	34	2,7	0	9,2
12	0	0	0	0	4,7	67,80	21,50	0,50	37,5	0,3	0	0,3
13	0	0	0	10	71,8	41,70	7,00	1,70	16,3	1,7	0	0
14	0	0	0	0	0,5	0,00	1,50	2,00	24,5	0,3	0	0
15	0	0	0	0	1,2	31,70	5,30	3,80	1,7	0,2	0	2,2
16	0	0	0	0	0	20,30	69,70	14,50	0	0	0	2,8
17	0	0	0	0	0	140,20	37,80	38,70	0	0	0	0,2
18	0	0	0	0	1,2	33,70	31,70	19,00	26,7	0	8	0
19	0	0	0	0	14	20,30	8,50	1,50	34,8	1,8	5,7	0
20	0	0	0	0	15,5	0,20	23,80	0,50	44,3	0	0	0
21	0	0	0	0	0	8,50	13,70	2,20	18,5	0	0	0
22	0	0	0	0	0	35,30	24,00	0,00	0	2	0	0
23	0	0	0	0	0	18,00	1,00	3,00	4,2	0	0	0
24	0	0	0	0	0	2,50	66,50	4,00	8,5	0	0	0
25	0	0	0	0	0	3,50	36,00	0,00	2	0	0	0
26	0	0	0	0	0	3,20	34,90	40,60	0	1,7	0	0
27	0	0	0	0	0	16,30	40,00	0,00	24,8	0	0,5	0
28	0	0,5	0	0,5	0	33,70	22,50	82,00	49,7	0,3	13	0
29	0		0	0	10	2,00	5,70	2,30	1	66,8	0	0
30	0		0	1,5	0	11,80	3,60	5,70	0	10	0	6
31	0		0		0,5		25,80	27,80		1,8		1,5
	8,50	1,00	0,00	12,00	149,90	542,70	577,20	464,50	425,20	308,40	57,70	23,20

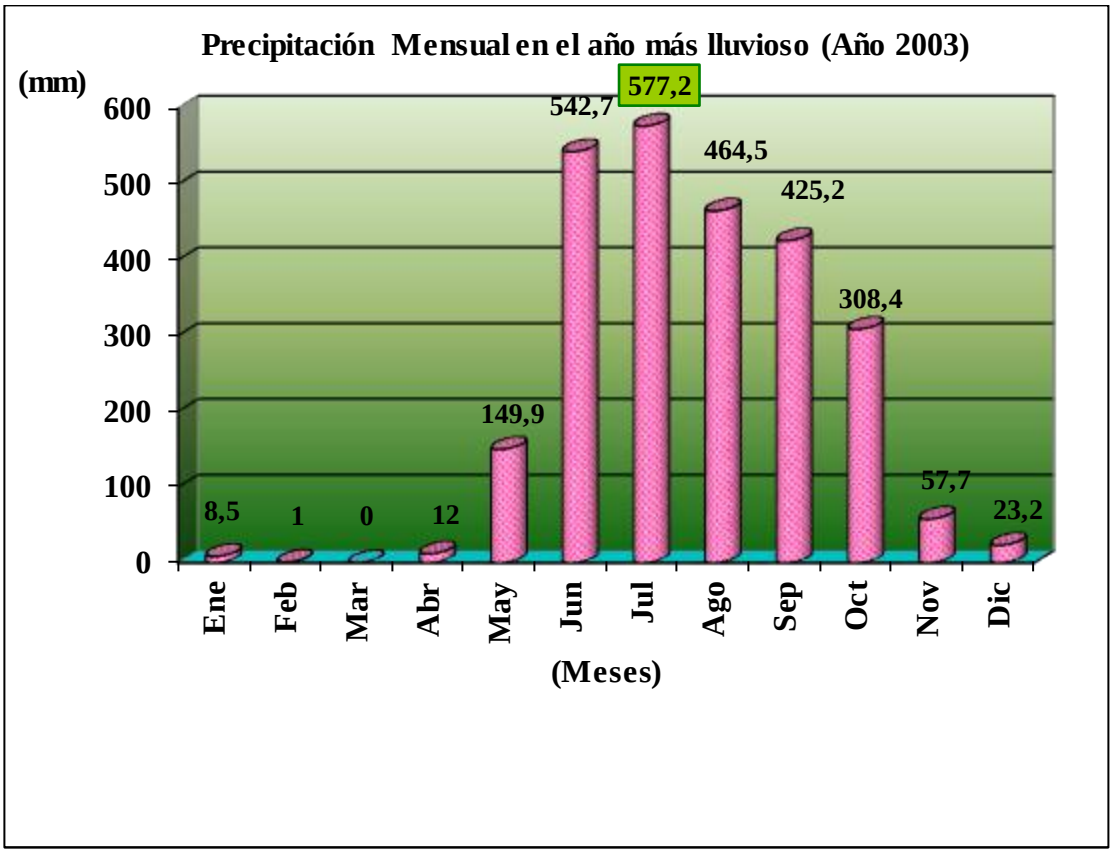


Figura 5.2 Gráfico de precipitación mensual en el año más lluvioso (2003)

Tabla 5.3 Precipitación diaria en el mes más lluvioso, CORPOELEC.

Mes mas lluvioso (Julio)	
Días	mm lluvia
1	10,70
2	1,50
3	0,30
4	0,00
5	0,20
6	0,00
7	0,30
8	5,50
9	17,00
10	20,20
11	41,00
12	21,50
13	7,00
14	1,50
15	5,30
16	69,70
17	37,80
18	31,70
19	8,50
20	23,80
21	13,70
22	24,00
23	1,00
24	66,50
25	36,00
26	34,90
27	40,00
28	22,50
29	5,70
30	3,60
31	25,80
TOTAL	577,2

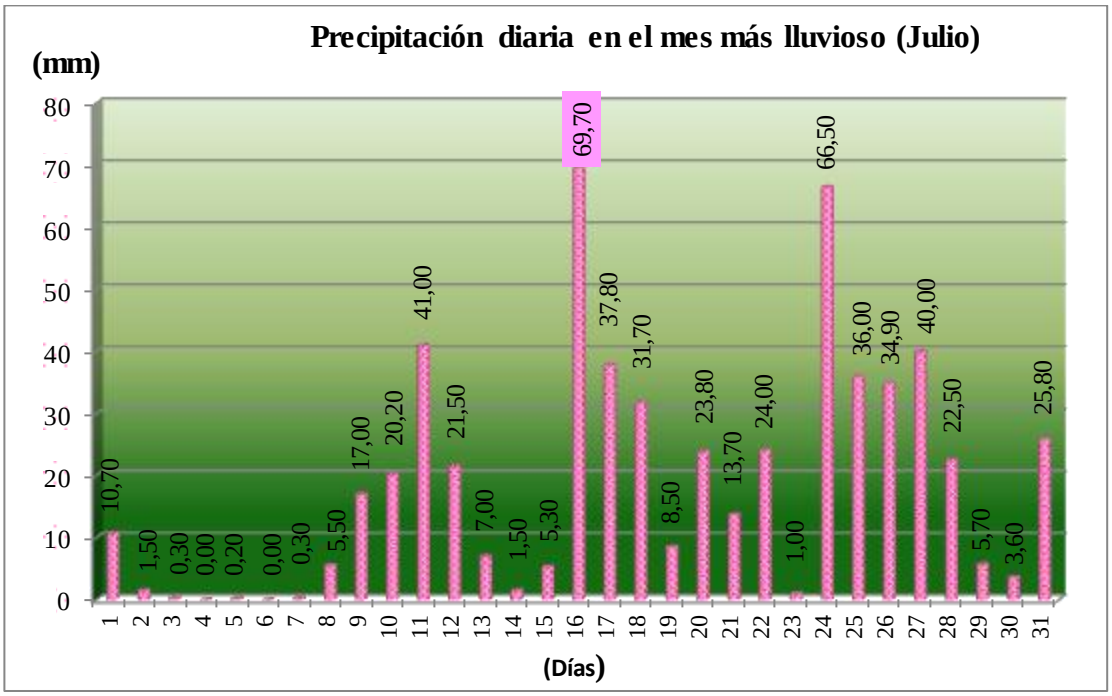


Figura 5.3: Gráfico de precipitación diaria en el mes mas lluvioso (Julio)

Para la elaboración de este trabajo se consideraron los valores máximos de precipitación de una data de 31 años, entre los años 1980- 2011, en donde las precipitaciones más altas se registraron el día 16, en el mes de julio, del año 2003.

5.4 Delimitación de las áreas a ser drenadas

5.4.1 Mina las pailas

Para la implementación del sistema de drenaje y la realización de los cálculos en esta mina se decidió considerarla como una sola área debido a su pequeña extensión; esta área es donde se está llevando a cabo la producción actualmente. En este caso parte de las aguas deben ser drenadas hacia un dique que se encuentra en la ladera Noroeste de la mina, para que sedimenten y luego por rebose puedan drenar a los cauces naturales.

Y otra parte de las aguas que drenen hacia los canales naturales en la ladera noreste de la mina. Ver anexo 1.

5.4.2 Mina los barrancos

En este caso la mina se dividió en sectores, para lo cual se consideraron cuatros (4) áreas. El área 1 o Eje A, se encuentra en la zona oeste, y comprende la Estación de carga R-2, sistema de rampas de acarreo principal hacia la PTLB 1, rampa de vehículos livianos, la PTLB II, zonas de apilados y depósitos a nivel 640 (parada de camiones). Gran parte de las aguas deben drenar hacia el dique ubicado en la ladera Sur de la mina. Ver anexo 2.

El área 2 o Eje B, está ubicado al este de la mina, esta se caracteriza porque es donde menos se ha desarrollado la mina. Las aguas de esta zona deben ser drenadas hacia la ladera Noreste y Sureste de la mina. Ver anexo 2.

El área 3 o Eje C, está situado prácticamente en el Noreste de la mina, una de las zonas donde se está produciendo actualmente, la mayor parte de las aguas de esta zona van a drenar hacia la ladera Noreste de la mina y una pequeña parte restante hacia la zona del R-3. Ver anexo 2.

El área 4 o Eje D, es la zona donde se presenta mayor desarrollo de la mina y donde actualmente también se está produciendo. Las aguas se van a canalizar por medio de cunetas y bateas hasta desalojarlas de los diferentes frentes de excavación. Una parte de las aguas va a ser drenadas hacia las zonas Suroeste de dicho Eje (zona adyacente a la cola del R-2); la otra parte va ser direccionada hacia la ladera Noroeste de este Eje. Ver anexo 2.

5.5 Cálculo del caudal de agua en las minas

Para el establecimiento del sistema de drenaje es necesario conocer el caudal de las aguas entrantes al área de estudio, y así poder determinar las dimensiones de los elementos de recogidas de las aguas. Dicho caudal se calculó utilizando la fórmula del Método Racional, donde se multiplica el total de agua precipitada en la cuenca de drenaje por el coeficiente de descarga; la cantidad de agua precipitada, a su vez, puede ser asumida como el producto de la intensidad pluviométrica (en milímetros de lluvia por unidad de tiempo) por el área de la zona de estudio. Una vez obtenidos los resultados correspondientes al volumen de las precipitaciones en la zona, se procedió a la determinación aproximada del caudal de aguas que se presentan en las minas en las épocas de lluvias de la manera que se indica.

5.5.1 Caudal del área de la mina las pailas

Para su cálculo se consideraron los siguientes datos:

C = 0,50 de la tabla 3.1 (valores de coeficiente de descarga), correspondiente a una superficie entre 10 y 30 %, expuesta o sin vegetación, con un suelo arenoso.

$$\text{I} = 69,70 \text{ mm/día} = \frac{69,70 mm}{24 \text{ hrs}} = 2,90 \text{ mm/hrs}$$

$A_1 = 0,540 \text{ km}^2$

$$\text{Q} = \frac{0,50 * 2,90 * 0,540}{3,6} \Rightarrow Q = 0,218 \text{ m}^3/\text{s} = 3457 \text{ GPM}$$

5.5.2 Caudal de las áreas de la mina los barrancos

5.5.2.1 Caudal del área 1 o Eje A

Para su cálculo se consideraron los siguientes datos:

C = 0,50

I = 69, 70 mm/día $= \frac{69,70mm}{24\ \text{hrs}}$ = 2, 90 mm/hrs

A_1 = 0,734 km^2

$$Q = \frac{0,50 * 2,90 * 0,734}{3,6} \Rightarrow Q = 0,296\ m^3/s = 4692\ GPM$$

5.5.2.2 Caudal del área 2 o Eje B

Para su cálculo se consideraron los siguientes datos:

C = 0,50

I = 69, 70 mm/día $= \frac{69,70mm}{24\ \text{hrs}}$ = 2, 90 mm/hrs

A_1 = 0,182 km^2

$$Q = \frac{0,50 * 2,90 * 0,182}{3,6} \Rightarrow Q = 0,073\ m^3/s = 1157\ GPM$$

5.5.2.3 Caudal del área 3 o Eje C

Para su cálculo se consideraron los siguientes datos:

C = 0,50

I = 69, 70 mm/día $= \frac{69,70mm}{24\ \text{hrs}}$ = 2, 90 mm/hrs

A_1 = 0,295 km^2

$$Q = \frac{0,50 * 2,90 * 0,295}{3,6} \Rightarrow Q = 0,119\ m^3/s = 1886\ \text{GPM}$$

5.5.2.4 Caudal del área 4 o Eje D

Para su cálculo se consideraron los siguientes datos:

C = 0,50

I = 69, 70 mm/día $= \frac{69,70mm}{24\ \text{hrs}}$ = 2, 90 mm/hrs

A_1 = 0,474 km^2

$$Q = \frac{0,50 * 2,90 * 0,474}{3,6} \Rightarrow Q = 0,191\ m^3/s = 3027\ \text{GPM}$$

5.6 Cálculo de la dimensión de las cunetas

Al momento de la selección de la forma de la cuneta, debe tenerse presente factores como la capacidad del canal, estabilidad del sector, economía y equipos empleados en su construcción y mantenimiento. Las secciones típicas utilizadas en cunetas son las triangulares y trapezoidales y pueden ser de suelo natural o estar revestidas; cada una de ellas tiene una forma de determinar los elementos de su geometría, los que serán útiles en los cálculos posteriores sobre su velocidad, capacidad, profundidad crítica y normal. Las cunetas de drenaje deben transportar las aguas a una velocidad suficiente para que los sedimentos no se depositen en ellas.

Las cunetas van a estar dispuestas de manera paralela a la vía o plataforma a desaguar y para lo cual la pendiente debe ser $\geq$ 0,25% para que el agua drene o se dirija hacia la cuneta.

En Ferrominera Orinoco, tomando en cuenta la experiencia se puede decir que el tipo de cuneta que se utiliza y que ha funcionado satisfactoriamente es el de forma triangular y para su dimensionado aproximado se procederá de la siguiente manera. Ver figura 5.4.

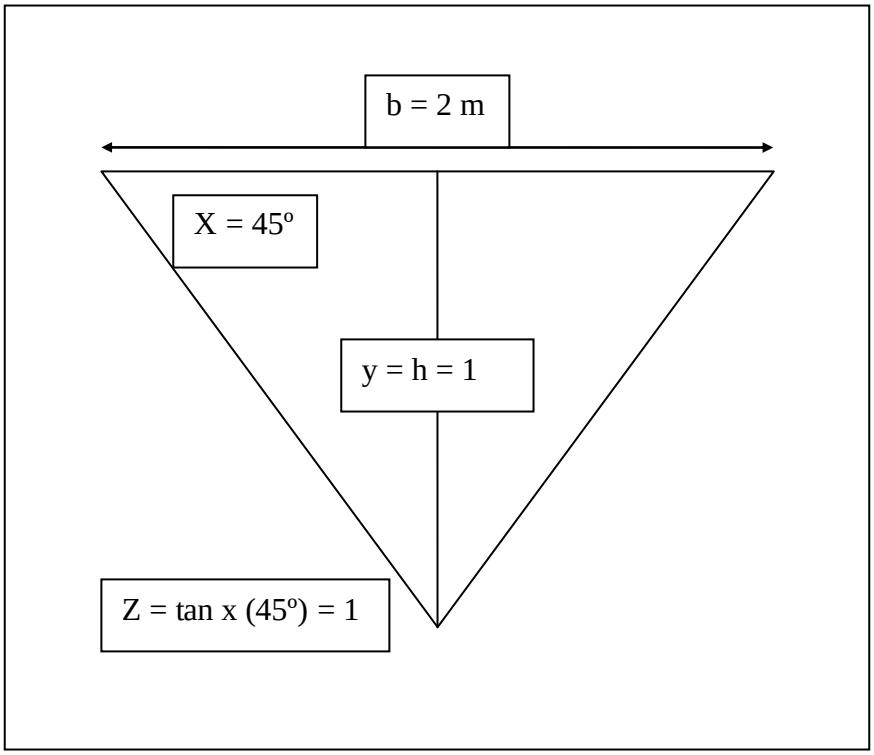


Figura 5.4 Forma triangular para cuneta

n = 0,030 de la tabla 3.5 (coeficientes de rugosidad típicos), correspondiente a un canal natural sin vegetación.

$A = z * y^2$, expresión tomada de la tabla 3.4, para un área triangular.

$A = 1 * 1^2 = 1m^2$, datos obtenidos de acuerdo al dimensionado de cunetas que se utiliza en Ferrominera Orinoco.

$R = \frac{z * y}{2\sqrt{1 + z^2}}$, expresión tomada de la tabla 3.4, para un área triangular.

$$R = \frac{1*1}{2\sqrt{1+1^2}} \Rightarrow R = 0{,}35 \text{ m}$$

S = gradiente de la sección longitudinal del canal = pendiente promedio de las rampas en la mina = 10%.

$$V = \frac{1}{0{,}030} * 0{,}35^{2/3} * 0{,}1^{1/2} \Rightarrow V = 5{,}23 \text{ m/s}$$

$$Q = 5{,}23 \text{ m/s} * 1 \text{ m}^2 \Rightarrow Q = 5{,}23 \text{ m}^3/\text{s} = 82906 \text{ GPM}$$

5.7 Cálculo del diámetro de las alcantarillas

Las alcantarillas o colectores están formados por tubos de los materiales siguientes, solos o combinados: piezas prefabricadas de hormigón, fibrocemento, acero corrugado galvanizado. Las secciones más comunes son las circulares, semicirculares, rectangular, y un diámetro mínimo para evitar obstrucciones de 0,60 m.

El recubrimiento de los tubos o alcantarillas deberá ser suficiente para evitar daños en ellos al paso de la circulación de vehículos tanto livianos como pesados y así lograr un buen funcionamiento del sistema de alcantarillado.

En Ferrominera Orinoco, tomando en cuenta la experiencia se puede decir que el tipo de tubo que se utiliza es el de acero corrugado galvanizado tal como se puede apreciar en la figura 5.5.

Figura 5.5 Alcantarilla de acero corrugado galvanizado

Para conocer las dimensiones aproximadas del sistema de alcantarillas o colectores que son necesarios para garantizar el desagüe adecuado del caudal de las aguas, se procederá de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{\frac{4(5{,}23\text{m}^3/\text{s})}{(5{,}23\text{m/s} * \Pi)}} \Rightarrow \text{d} = 1{,}27 \text{ m} = 50 \text{ pulg.}$$

5.8 Establecimiento del sistema de drenaje

El propósito fundamental de establecer un sistema de drenaje es contrarrestar los daños que pueden causar las aguas de escorrentías en las minas y que van a incurrir directamente en el buen desenvolvimiento de las operaciones mineras. De esta manera se evita que se produzcan consecuencias mayores debido al manejo incorrecto de las aguas.

Luego de haberse determinado los cálculos necesarios, es decir, el caudal en cada una de las áreas en las que se dividieron las minas, el caudal desaguado por el patrón a ser utilizado en el sistema de cunetas, el diámetro de las alcantarillas a utilizar para el sistema de alcantarillado, llega el momento para su aplicación.

Un sistema de drenaje consiste primordialmente en proporcionar la recolección, transporte y lanzamiento final de las aguas de escorrentías hasta los diques o lagunas de sedimentación.

En este trabajo se ha mencionado anteriormente establecer un sistema de drenaje en las minas Las Pailas y Los Barrancos para el manejo de las aguas, y para ello comprende cuatro (4) ejes o áreas de la mina Los Barrancos y la mina Las Pailas que se consideró como una sola área debido a su pequeña extensión. Ver anexo 1 y anexo 2.

De esta manera, en el área de la mina Las Pailas, debido a sus propias condiciones, las aguas van a drenar sin inconvenientes, utilizando el factor gravedad, solo es necesario la construcción de cunetas requeridas en dicha área y luego conducirlas hacia un dique que se encuentra en la ladera Noroeste de la mina. Ver anexo 1.

En el Eje A, es decir, el área 1 de la mina Los Barrancos, las aguas se canalizaran a través de cunetas construidas a lo largo de la rampa de acarreo principal, y la rampa de vehículos livianos y luego direccionarlas hacia el dique que se encuentra en la ladera Sur de la mina. Ver anexo 2.

En el caso del Eje B o área 2, las aguas se conducirán a través de cunetas hasta descargarlas en la ladera Noreste y Sureste de la mina. Ver anexo 2.

Con respecto al Eje C o área 3, también van a ser canalizadas a través de cunetas hasta dirigirlas hacia la ladera Noreste de la mina.

En relación al Eje D o área 4, las aguas se desalojaran a través de cunetas hacia la ladera Noroeste del Eje D y otras aguas van hacia la zona de la cola del R-2.

Luego de que las aguas se encuentren en los diferentes diques, los sedimentos que arrastran las aguas superficiales se depositaran en ellos y el agua un poco más limpia se incorporara a los cauces naturales, minimizando de esta manera el posible impacto al ambiente.

5.9 Mantenimiento de los elementos del drenaje existentes de estas minas

El control de la erosión, es el principal problema que se presenta, debido a la destrucción de los taludes por el agua de escorrentía durante la época de lluvia, siendo esto desfavorable en la rehabilitación de taludes. Por tal motivo el exceso de agua será drenada mediante cunetas o canales cuidando que las mismas estén dispuestas en la parte interior de los niveles de excavación, evitando que drene por la cresta, así la misma será transportado desde la mina hasta los diques.

Se evitará siempre el estancamiento de las aguas en la plataforma y áreas operativas, corrigiendo si es preciso las irregularidades que las causen, o disponiendo de las oportunas cunetas y colectores que recojan las aguas y las evacuen lejos de las áreas operativas, plataforma y rampas.

Donde las cunetas, bermas o taludes posean cobertura vegetal se ejecutaran los riegos periódicos que sean necesarios, reponiendo las capas vegetales arrastradas por el agua. Las cunetas se reperfilarán cuando sea necesario, especialmente donde su perfil haya cambiado por erosión.

En cuanto a los diques, es necesario que periódicamente se programe el desalojo de los sedimentos que se acumulan en ellos, producto del arrastre en suspensión por las aguas; esto con el fin de evitar que se llenen y no cumplan la función para la cual fueron construidos, como lo es la de decantar las aguas y permitir que se incorporen a los cursos naturales lo más limpias posibles.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1.- Se seleccionaron las minas Las Pailas y Los Barrancos para el estudio respectivo, se dividió la mina Los Barrancos en cuatro (4) áreas por su gran extensión (Área 1 o Eje A, Área 2 o Eje B, Área 3 o Eje C, Área 4 o Eje D); y la mina Las Pailas se trabajó como una sola área debido a su pequeña extensión.

2.- Se revisaron los registros de precipitación de un lapso de 31 años, de las zonas en estudio y se pudo conocer que el día 16, del mes de julio del año 2003 se presentó el máximo volumen de precipitación arrojando un valor de 69,70 mm/día; cuyo dato se utilizó para el cálculo del caudal respectivo.

3.- Se realizó el cálculo del caudal en cada una de las áreas de la mina Los Barrancos y en el área de la mina Las Pailas, obteniéndose para las áreas de Los Barrancos los siguientes valores: Eje A= 0,296 m^3/seg. = 4692 GPM, Eje B = 0,073 m^3/seg. = 1157 GPM, Eje C = 0,119 m^3/seg.= 1886 GPM, Eje D = 0,191 m^3/seg.= 3027 GPM, y para el área de Las Pailas se obtuvo el siguiente valor: A_{lp}= 0,218 m^3/seg.= 3457 GPM

4.- En cada una de las áreas seleccionadas se indicaron las actividades necesarias (construcción de cunetas y colocación de alcantarillas) para garantizar la canalización del drenaje en dichas minas.

5.- Se consideró que de acuerdo a la experiencia en Ferrominera Orinoco la utilización de las cunetas en forma triangular para la evacuación de las aguas, es la

que mejores resultados ha dado; aplicando la formula racional se obtuvo un caudal de 5,23 m^3/seg.= 82906 GPM a desalojar.

6.- En Ferrominera Orinoco de acuerdo a la experiencia, el tipo de alcantarillas o colectores adecuados para el desagüe son los de acero corrugado galvanizado, estos han dado excelentes resultados. Para el dimensionado de estas alcantarillas y conocer el diámetro se utilizó la fórmula para calcular el caudal, adquiriendo un valor de d= 1,27m = 50 pulg.

Recomendaciones

1.- Es importante resaltar que para poder diseñar un sistema de drenaje adecuado y eficaz, debe disponerse de una investigación previa climatológica, hidrológica, y geológica que aporte la información necesaria sobre las características del terreno a drenar, con el propósito de mantener canalizadas las aguas de escorrentías superficiales.

2.- Se deben colocar cabeceras en la entrada de la alcantarilla, para encauzar las corrientes de aguas y proteger el talud y el suelo de socavaciones.

3.- Construir un dique en la ladera Sur de la mina Los Barrancos con el objetivo de controlar la contaminación de los cuerpos de aguas naturales que se encuentran cercano a la mina.

4.- Realizar mantenimiento periódicamente al sistema de alcantarillado y cunetas para evitar la acumulación de sedimentos que provoquen obstrucción.

5.- Se recomienda colocar vegetación en aquellos sitios donde sea necesario, para proteger los taludes o terrenos sin vegetación y así evitar la socavación, deterioro e inestabilidad de las zonas.

6.- Acortar el tiempo del mantenimiento periódico de los diques para desalojar efectivamente los sedimentos que se acumulan y evitar que se colapsen y dejen de cumplir la función para lo cual fueron diseñados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARMCO Internacional (1.981), MANUAL DE PRODUCTOS DE ACERO PARA DRENAJE Y CONSTRUCCIÓN VIAL. American Iron and Steel Institute. Ohio, EE.UU. pp. 79-84, 237-239.

Chacón, Edgar (1.997), TÉCNICAS DE OPERACIONES DE MINERÍA DE SUPERFICIE. Volumen I y II. Trabajo de Ascenso, Escuela de Ciencias de la Tierra, Universidad de Oriente, Ciudad Bolívar.

CVG Ferrominera Orinoco (2005), MANUAL DE NORMAS Y PROCEDIMIENTOS. Jefatura de Área de Planificación y Desarrollo de Mina, Ciudad Piar. Estado Bolívar.

CVG Ferrominera Orinoco (2007), PLAN ANUAL DE DRENAJE. Jefatura de Área de Planificación y Desarrollo de Mina, Ciudad Piar. Estado Bolívar.

C.V.G. Técnica Minera C.A. (1.991). INFORME DE AVANCE NB-20-2, NC-20-14. CLIMA, GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA, SUELOS, VEGETACION. TOMO I. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp. 145-156.

Delgado, Cristina. (1992). PRESENTACION TECNICA SOBRE LA MINERIA DEL HIERRO EN VENEZUELA, pp. 9-13.

Fair Gordon, Geyer John, Okun Daniel. (2004). INGENIERIA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES. Editorial Limusa. México. pp. 163-184.

Gil, Juan M. (2.003), DIAGNOSTICO Y CONTROL DE LA EROSION HIDRICA EN TALUDES EN LAS LADERAS NORTE Y SUR DEL YACIMIENTO SAN ISIDRO, CIUDAD PIAR, ESTADO BOLIVAR. Trabajo de Grado. Universidad de Oriente. Escuela de Ciencias de la Tierra. Núcleo Bolívar. Ciudad Bolívar. Estado Bolívar. pp. 23-37.

Kalliokoski, J. (1.965). GEOLOGÍA DE LA PARTE NORTE – CENTRAL DEL ESCUDO DE GUAYANA. Boletín Geológico. Caracas, Venezuela. pp. 25-102.

Mendoza, Vicente. (2000). EVOLUCION GEOTECNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA, Pto Ordaz, Venezuela. Pp 12-21.

DRENAJE SUPERFICIAL. 20 de junio del 2012. http://www.carreteros.org/normativa/drenaje/5_2ic/apartados/2.htm.

DRENAJE SUPERFICIAL. 15 de julio de 2012. http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/2784CE5B.../0610100.pdf

Monografías (1997), DISENO DE CANALES. 20 de agosto del 2012. www.monografias.com/trabajos19/canales/canales.shtml

REGISTROS DE PRECIPITACION, 16 de abril 2012. www.immeteoven.org/vaguada/fav_vag_99. doc.

DRENAJE DE MINAS A CIELO ABIERTO. 20 de agosto de 2012. http://www.cpampa.com/web/mpa/2009/10/drenaje-eficiente-en-mineria-a-cielo-abierto/

TIPOS DE PLUVIOMETROS. 26 de julio de 2012. http://igegraf.unam.mx/web/sigg/docs/pdfs/publicaciones/geo_sigloxxi/serie_tex_ani/1/cp2.pdf

Melean, Ender (2004), EL CICLO HIDROLOGICO. 25 de agosto de 2012. http://ciclo_hidrológico.com.

APENDICE A DATOS PLUVIOMETRICOS

Apéndice A.1 Datos pluviométricos

	GERENCIA D	E GESTION	AMBIENT	AL		ESTACI	ON: LA	PARAGUA					
	EDELCA *					TIPO	SERIAL	DATO	MSNM	LAT.N	LONG.W UN	ID. INST	. ELIM.
	BASE DE DA	TOS HIDRO	METEOROL	OGICOS *		PREC	8522	MENSUAL	283	65000	632000 MM	JUL/	57 FUNC.
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1957	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	222,3	244,4	205,1	80,5	0.0$	0.0$	752.3$
1958	17	16,1	2,7	43,3	118,5	105.6$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	197.6$
1959	22,4	18,6	0	5,9	100,5	183,1	159,9	260,2	200,1	126,2	43,6	2,4	1122,9
1960	31,2	1,9	1	162,3	72,1	203,1	280,9	355	190,2	156,6	29,4	9,4	1493,1
1961	15,5	7	0	0	37	256	337,6	382,2	231,4	100,5	186,8	59	1613
1962	9,5	0,5	3,1	1,2	153,5	281,9	380,3	480,2	96,8	26,9	55,5	3	1492,4
1963	47	12,5	22,2	28	263,7	218,9	495,5	229,4	192,6	105,1	34,9	9,7	1659,5
1964	2,3	0,4	0,5	24,3	87,5	300,6	290,4	294,3	260,2	118	79,3	44,9	1502,7
1965	48,9	29,5	0	158	166,4	230,6	162,4	246,5	127,6	166,4	75	15,9	1427,2
1966	13,7	0	13	47,9	216,6	324,9	432,7	349,3	163,2	68,3	222,6	153,4	2005,6
1967	27,1	7,8	6,7	124,1	165,5	406,4	411	273,5	220,7	75,8	21,8	19,8	1760,2
1968	15,5	21,8	39,5	111,5	196,3	223,6	182,4	273,9	192,9	65,5	37,8	13,1	1373,8
1969	15,6	33,2	18,4	19,3	206,3	274,9	253,7	337,6	153,9	174,9	79,6	22	1589,4
1970	45,7	4,5	10,1	55,4	243,7	255,3	567,6	556,9	103,7	35,7	29,8	24,2	1932,6
1971	29	14	11,7	72,8	211,2	152,8	164,7	266,8	204,6	224,7	119,2	8,3	1479,8
1972	31,6	21,2	24,4	186,7	206,5	156	122,7	127,3	87,6	156,1	63,8	4,2	1188,1
1973	2,2	0,5	0,1	34,2	30,6	324,7	155,6	151,9	205,2	72,8	82	137,3	1197,1
1974	26,5	37,1	36,2	46,7	6,7	29,7	227,6	285,4	272,1	57,4	212,4	17,9	1255,7
1975	51,7	31,3	0,9	31,8	65,2	198,7	278,9	363,8	119,9	168,8	34,7	89,9	1435,6
1976	52,3	53,1	83,8	121,4	63,9	121,3	316,9	93	21,9	170,7	16	60,4	1174,7
1977	5,1	0	4,4	0,3	104,8	257,6	136,1	221,1	190,4	83,5	32,7	3	1039
1978	21,7	0	4,5	84,7	89,3	381,9	204,9	470,2	11,2	211,5	161,8	19,7	1661,4
1979	28,9	0	45,7	51,4	56,8	629,3	249	169,9	137,1	194,5	46,4	35,8	1644,8

Continuación de Apéndice A.1.

1980	15,9	0	0,7	64,6	472	274,1	328,9	476,6	263,7	78,1	195,1	2,9	2172,6
1981	12,5	12,3	18,1	378,1	174,5	248	240,7	514,9	222,2	47,3	0	3,1	1871,7
1982	12,3	78,8	38,3	183,2	198	271,5	161,6	178,3	228,8	89,9	2,2	92,4	1535,3
1983	6,6	14,8	7,7	134,4	226	384,3	327,2	393	82,2	52,6	10,9	37,8	1677,5
1984	50	0,4	23,3	8,6	120,9	221,7	350,1	529,2	238,3	67,1	118,8	37,1	1765,5
1985	19,6	6,2	34,6	55,2	108,2	187,7	293,6	485,6	149	91,4	159,4	56,6	1647,1
1986	10,8	86	3,4	2,2	208,5	315,9	198,4	124,9	212,2	244,2	191,6	15,7	1613,8
1987	17,4	7,9	11,6	47,1	398,9	226	323,7	185,6	322,5	41,8	67,3	13,3	1663,1
1988	14,2	38,2	0	0,3	26,6	423	443,3	641,8	331,8	196,9	65,1	74,8	2256
1989	72,8	31,5	78,2	7	94	83,9	300,8	186,5	360,6	79,4	132,3	70,9	1497,9
1990	65,1	15,7	15,8	15,9	145,8	393,6	381,4	394,3	294,9	240,3	80,5	48,8	2092,1
1991	32,4	10,1	13,4	0	59,9	316,2	174,5	430,8	157,4	101,5	16,1	95,7	1408
1992	14,3	22,5	22,9	68,8	234,3	342,6	272,7	324,6	98	43,2	85,1	31,9	1560,9
1993	6,9	8,1	24,5	53,5	422,5	296,8	197,8	348,7	157,2	169,7	183	17	1885,7
1994	56,8	7,9	11,4	56,7	38,3	157,1	329	271,9	82,8	214	40,7	20,2	1286,8
1995	5,7	0	4,9	10,5	123	196,1	534,1	295,5	177,3	164,8	83,9	65,7	1661,5
1996	23,1	92,5	15,9	1,6	150,9	439,1	382	335,3	250,6	127,4	103,1	21,4	1942,9
1997	27,4	58,5	13	4,4	98,5	173,2	346,2	264,6	51,5	133,2	26,5	10,1	1207,1
1998	0,3	8,5	11,5	37,7	210,4	330,7	235,9	395,7	245,8	90,8	86,5	151	1804,8
1999	97,6	18,2	11,2	95,7	97,6	136,6	492,1	335,1	191,3	153	102,9	75	1806,3
2000	155,7	7,7	68,8	34,6	159,8	556,4	359	165,1	220,5	90,6	122,9	8,7	1949,8
2001	3,7	9,2	0,2	1,8	82,2	208,2	316	277,7	320,5	142,3	44,5	44,7	1451
2002	53,8	3,5	27,5	92	257,7	441,5	272,7	340,3	192	115,9	78,1	25,5	1900,5
2003	8,5	1	0	12	149,9	542,7	576,6	464,5	425,2	308,4	57,7	23,2	2569,7
2004	52,4	9,5	0	24,5	420,8	123,5	300,7	268,2	272,7	91,5	129,3	41,7	1734,8
2005	69,8	3,5	0	51,7	187,5	357,5	562,9	383	106,7	101	151,6	79	2054,2
2006	108,5	46,5	2,1	57,4	153,5	278,5	421,6	273,4	101,9	196,6	99,9	90,3	1830,2
2007	67,9	3,2	24,1	8,1	69,1	397,1	508,6	360.0$	193.8$	112,6	53.5$	0.0$	1190.7$
2008	16.2$	48.0$	0.0$	44.0$	156,2	286,1	395	369,8	360,2	169.0$	0.0$	361.7$	1567.3$
2009	27.6$	57,5	25,7	34,8	0,2	80.5$	302.5$	217,5	144,4	149,6	100,2	10,6	740.5$
2010	6,8	1,2	34,6	100,3	150.9$	340	519,3	292,8	261,4	103,7	151.5$	58.9$	1660.1$
2011	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	230.9$	189	253,2	202	0.2$	644.2$
2012	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$	0.0$

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	PLAN DE DRENAJE PARA LAS MINAS LAS PAILAS Y LOS BARRANCOS, PERTENECIENTES AL CUADRILATERO FERRIFERO SAN ISIDRO, UBICADO EN EL MUNICIPIO ANGOSTURA DEL ESTADO BOLIVAR.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Pérez A. Rosiris Del C.	**CVLAC**	**15.636.123**
	e-mail	
	e-mail	**P_Rosiris@hotmail.com**

Palabras o frases claves:

Plan de drenaje
Mina Las Pailas
Mina Los Barrancos
Planos

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Ingeniería de minas	Ingeniería de minas

Resumen (abstract):

Las Pailas y Los Barrancos, son las minas pertenecientes al Cuadrilátero Ferrífero San Isidro que se ubican en el Municipio Angostura del Estado Bolívar y que actualmente se encuentran en producción por parte de la C.V.G FERROMINERA ORINOCO C.A. El desalojo de las aguas de las diferentes áreas en operación y carreteras es de gran interés, debido a que estas aguas dificultan las labores mineras. Por lo tanto, en el presente trabajo, se realiza la elaboración del plan de drenaje de las minas antes mencionadas con el propósito de establecer pautas a seguir e indicar las actividades necesarias para garantizar un sistema de captación y ubicación final de aguas de escurrimiento superficial de tal manera que la integridad de los cuerpos de agua receptores sean preservadas. El procedimiento o metodología se desglosa a partir de información disponible y de registros de precipitación, para luego realizar diversas visitas a las áreas en donde se determinaron las principales actividades para controlar el drenaje en las diferentes minas. De esta manera se establecieron los cálculos de caudal y gráficos necesarios para poder determinar las dimensiones de los elementos de recogidas de las aguas y así implementar el sistema de drenaje. De acuerdo a estos cálculos se arrojaron resultados en donde gran parte de las aguas son canalizadas a través de cunetas y alcantarillas hasta los diferentes diques.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Osio, Bezeida	**ROL**	**CA** [ ] **AS** [ ] **TU** [x] **JU** [ ]
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Fernández, Jesús	**ROL**	**CA** [ ] **AS** [ ] **TU** [ ] **JU** [x]
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
Rojas, María	**ROL**	**CA** [ ] **AS** [ ] **TU** [ ] **JU** [x]
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2012	**11**	**22**

Lenguaje Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-Plan de drenaje para las minas las pailas y los barrancos.Doc

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ -** .

Alcance:

Espacial: _____ (Opcional)

Temporal: (Opcional)

_____

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniería de minas

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio: Departamento de Ingeniería de minas

Otra Institución que garantiza el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU Nº 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda ***"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC Nº 696/2009".***

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR Magaly
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SECRETARIA
CONSEJO UNIVERSITARIO

JUAN A. BOLAÑOS CURVELO
Secretario

C.C: *Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.*

JABC/ YGC/ maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

Rosiris Pérez

AUTOR 1

AUTOR 2

TUTOR