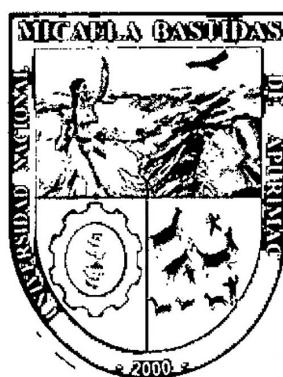


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

2014

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TEMA:

**DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA CALCULAR
TIEMPO EFECTIVO DE RIEGO EN VIAS MINERAS DE LA UNIDAD
MINERA ANABI SAC. 2013**

PRESENTADO POR:

FIGUEROA VARGAS ADOLFO

ASESOR: NELSON P. MEZA PEÑA.



DEDICATORIA

Este trabajo se la dedico a mis padres, por darme la vida, a mis tíos, por enseñarme lo que sé, a mi dulce esposa Liz y mi adorable hija Amira, pero por sobre todo a mi Mamá Salome, porque por ella soy lo que soy.



AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Empresa Minera ANABI del grupo ARUNTANI, gracias a sus operaciones pudo salir esta tesis, pero en especial al Ingeniero Víctor Jiménez, quien puso el reto de elaborar algo muy nuevo.



Página de los Jurados.

PRESIDENTE : Ing. Feliciano Escobedo Silva.

PRIMER MIEMBRO : Ing. José Cárdenas Catalán.

SEGUNDO MIEMBRO : Ing. Franklin Aguirre Huillcas.

ACCESITARIO : Ing. Walquer Huacani Calsín.







RESUMEN.

El presente trabajo inició como un cálculo de consumo de agua para realizar el requerimiento de camiones cisterna para el riego de las vías en la Unidad Minera ANABI-HUISAMARCA, empresa del mismo nombre perteneciente al grupo ARUNTANI, puesto que no se tenía un estimado del costo de este servicio en mina, de ahí que nace la inquietud de realizar el cálculo de un tiempo de riego óptimo en base a esos datos realizar una planificación del consumo anual en un tópico poco conocido, los cuales fueron respaldados por pruebas de campo respectivas y repetidas en el campo.

El problema era definir el número de cisternas y sus respectivas capacidades que cubran las necesidades de mina (abastecimiento de agua para uso industrial, agua para las perforadoras diamantinas, agua para compactación en ampliación del Pad de Lixiviación); pero fundamentalmente era el requerimiento para el riego de vías, puesto que el área de mina ya contaba con un cisterna de 7000 galones de capacidad que abastecía de agua para esos usos.

Por otro lado, los parámetros utilizados para el presente trabajo se resumen en tres: primero la Evapotranspiración (EPT) que es el resultado de la temperatura ambiental y de la flora presente, por otro lado está la Permeabilidad del suelo, que incluye los factores de tipo de suelo, compactación y grado de humedad y por último los parámetros de geotecnia (C.B.R), los que combinados resultaron en un tiempo estimado de riego, habiéndose comparado los cálculos con el tiempo efectivo en campo.

ABSTRACT.

This work began as a calculating water consumption for the requirement for tankers to irrigate roads in Mining Unit ANABI-HUISAMARCA, a company of the same name belonging to ARUNTANI group, as a cost estimate has not had this service mine, hence arises the concern of the calculation of a time optimal irrigation based on these data make a schedule of annual consumption in a topic little known, which were supported by tests respective field and repeated in the countryside.

The problem was to define the number of tanks and their respective capabilities to meet the needs of mine (water supply for industrial use, water for diamond drilling, water for compaction expansion Pad); but it was mainly the requirement for irrigation of roads, since the mine area already had a tank of 7000 gallons capacity that supplied water for those uses.

On the other hand, the parameters used in this study are summarized in three: first Evapotranspiration (EPT) which is the result of environmental temperature and flora present, on the other hand is the soil permeability, which includes factors soil type, compaction and moisture content and finally geotechnical parameters (CBR), which resulted in an estimated combined irrigation time, calculations having been compared with the actual time in the field.

INDICE GENERAL	
CARÁTULA	
CONTRACARÁTULA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
PÁGINA DE LOS JURADOS	v
COPIA DEL ACTA DE SUSTENTACIÓN	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INDICE GENERAL	x



INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1. ASPECTOS GENERÁLES.	2
1.1. Descripción del yacimiento	2
1.2. Tipo de Mineral.	2
1.3. Tipo y descripción de la operación minera; instalaciones de beneficio y de apoyo.	3
1.4. Ubicación del área del Proyecto	4
1.5. Distancias a Poblados del Entorno	4
1.6. VÍAS DE ACCESO	5
1.7. Vías en estudio	6
2. EQUIPOS, MATERIAL Y MÉTODOS.	7
2.1. EQUIPOS	7
2.2. MATERIALES	7
2.3. MÉTODOS.	7
2.3.1. Tipo y nivel de investigación	7
2.3.2. Método y diseño de investigación	7
2.3.3. Población (Características y delimitaciones)	8
2.3.4. MUESTRA	8
2.4. Ubicación espacio-temporal	9
2.4.1. Técnicas de muestreo:	9
CAPÍTULO II	
MARCO CONCEPTUAL.	10



A. Ambiente.	10
B. Bermas.	10
C. Calidad Ambiental	10
D. Cloruro de Magnesio	11
E. Compactación	11
F. Cunetas.	11
G. Contaminación.	11
H. Drenaje en las vías de acarreo.	12
I. Ensayo DE C.B.R	12
J. Equilibrio evaporativo	12
K. Evaporación	13
L. Evapotranspiración (ET)	14
a. Evapotranspiración Potencial	15
b. Evapotranspiración Real (suelo)	15
M. Ensayo C.B.R	16
N. Fenómeno físico	17
O. Humedad	18
P. Impacto	18
• Impacto Ambiental	19
Q. Mantenimiento en las vías	19
R. Material particulado (MP)	19
S. Mitigación	21
T. Modelo Matemático	21
a. Pista o Rampa Minera	22
U. Polvo	24

V. Riego	24
W. Suelo	24
X. Temperatura ambiental	25
Y. Unidades	26
Z. Viento	26

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO

2.7 VARIABLE HIDROLÓGICA	27
3.2. Factores que influyen en la tasa de evaporación	28
3.3. Generación de Polvo.	29
3.3.1. La Temperatura media anual (T.m.a.):	29
3.4. Parámetros de diseño y control de vías	30
3.4.1. Pendiente.	30
3.4.2. Ancho.	30
3.4.3. Peralte.	30
3.4.4. Ensayo de C.B.R. (Nch 1852 of.81)	31
3.4.5. Razón de Soporte (CBR)	34
3.4.6. Evapotranspiración Real (suelo)	35

CAPÍTULO IV

4. Formulación de Hipótesis	36
4.1. Hipótesis general	36
4.2. Hipótesis específicas	36
4.3. Variables y definición operacional de variables:	36
4.4. Condiciones para rechazar o aceptar las hipótesis	36

...



CAPÍTULO V

5. PARTE EXPERIMENTAL	38
5.1. Descripción de la experimentación	38
5.2. Distancias de vías (internas y externas al proyecto).	38
5.2.1. Vías internas.	38
5.2.2. Vías externas.	39
5.3. Acopio de datos de estación Meteorológica	40
5.3.1. Cálculo temperatura Medio Mensual	40
5.3.2. Cálculo del índice de calor Mensual:	41
5.3.3. Se calcula el “índice de calor anual (I)	42
5.3.4. Cálculo de la ETP mensual “sin corregir”	43
5.3.5. Cálculo de la ETP corregida.	44
5.3.6. Cálculo del C.B.R.	45
Velocidad de percolación	47
5.3.7. Periodo de Riego.	47
5.4. Gráficos	52
5.5. Secuencia para describir cuadro resumen.	60
5.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	61
5.6.1. Etapas de la experimentación	61
5.6.2. Procesamiento y análisis de datos	61
5.6.3. Selección de las pruebas	62

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS.	63
6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	66



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	71
------------------------------------	-----------

ANEXOS

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Distancias a Poblados más cercanos	5
Gráfico 02: Plano de Ubicación de componentes	6
Gráfico 03: Corte de Sección Transversal de vías mineras.	23
Gráfico 04: Perfil de Suelo	25
Gráfico 05: Altura y velocidad de percolación en prueba	49
Gráfico 06: Evolución Mensual de la Temperatura media mensual	53
Gráfico 07: Evolución mensual del Índice de Calor Mensual	54
Gráfico 08: Evolución mensual de la evapotranspiración Mensual	55
Gráfico 09: Evolución Mensual de la Evapotranspiración Corregida	56
Gráfico 10: Evolución Mensual de la Velocidad de Percolación	57
Gráfico 11: Evolución Mensual de la velocidad estándar	58
Gráfico 12: Evolución Mensual de la Frecuencia de riego	59
Gráfico N° 13 Distribución del gasto de agua por tramos.	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Vía de acceso al área del Proyecto – Ruta 1	5
Tabla 02: Requisitos de los materiales	17
Tabla 03: Carga patrón de ensayo CBR	32



Tabla N° 04: Energías de Compactación	
Tabla N° 05: Clasificación de suelos para infraestructura de Pavimentos	33
Tabla N° 06: Tensiones normalizadas	34
Tabla N° 07: Clasificación del suelo de acuerdo al CBR	35
Tabla 08: Variables y definición operacional.	36
Tabla 09: Cuadro de distancia de vías	39
Tabla 10: Temperaturas medias mensuales	41
Tabla 11: Índice de calor Mensual	42
Tabla 12: Índice de calor anual	43
Tabla 13: Evapotranspiración sin corregir mensual	44
Tabla 14: Evapotranspiración Mensual corregida	45
Tabla 15: Simulación de pruebas CBR	46
Tabla 16: Índice de C.B.R. real para muestra-Ensayos.	47
Tabla 17: Pruebas de Permeabilidad	48
Tabla 18: Tabla de periodos mensuales	50
Tabla 19: Resumen de Cálculos para obtención de la frecuencia de riego	51
Tabla N° 20: Resumen de distancias, rutas y volúmenes de consumo de agua	69

...



INTRODUCCIÓN

El primer trabajo encargado en la primera unidad minera que arribe (ANABI-Huisamarca), fue determinar el número de camiones cisterna necesarios para poder coberturar los diversos servicios dentro de la unidad, principalmente el riego de vías (internas y externas), lo que se tradujo en una búsqueda de información para intentar resolver dicha solicitud, al cabo de un mes de búsqueda de información se encontró los modelos base para realizar dicho cálculo (modelo de Thornthwaite) para calcular la evapotranspiración, en una determinada zona, para este caso la zona de estudio fueron algunos accesos en la unidad, la misma que queda Quiñota-Santo Tomas- / Chumbivilcas / Cusco.

Mencione al principio que el primer trabajo encargado fue calcular el número de cisternas necesarias, pero para poder realizar dicho encargo laboral, tuve que analizar para ver cuál era el verdadero problema, lo que me llevo a pensar, que debía de calcular no el número de cisternas, si no el consumo de agua a realizar, ese fue el punto de partida para este trabajo, después de encontrar el consumo de agua se pudo calcular no solo el número de cisternas, si no que se pudo calcular el periodo de riego necesario para poder optimizar el uso de la misma, recurso que de por si es sumamente importante medir su consumo.

Para el presente trabajo se empleó un factor combinado evaluando la permeabilidad y la evapotranspiración, resultado que al final resuelve de manera preliminar el problema inicial en la Unidad, pero dio pie para resolver un problema mayor, determinar el periodo de riego de vías en base a dos parámetros (temperatura, permeabilidad); y poder en un futuro insertar más parámetros para acercar mucho más este modelo, demostrando su practicidad en el tiempo.

CAPÍTULO I

1. ASPECTOS GENERÁLES.

Anabi S.A.C. es Cesionario minero de las concesiones JADE VII, JADE VIII, JADE IX, JADE X, JADE XI, JADE XII y SANDRA 17. La empresa Rillo S.A.C. es el Titular Minero. El área del Proyecto Anabi ha sido objeto de una serie de exploraciones que se inició desde los años 1993 hasta 1996 a cargo de J.V. Southwestern Gold y Sociedad Minera Cambior; en los años 1997 exploró Cominco, seguidamente continuó reconociendo la zona Minera Barrick Misquichilca en el año 2000 y en el 2004 continuó Newmont y a partir del 2007 realizó exploraciones, Anabi SAC.

1.1. Descripción del yacimiento

Mediante estudios geofísicos, geoquímicos, sondajes de perforación diamantina con recuperación de testigos y sondajes de aire reversa, se ha determinado que la mineralización aurífera ocurre tanto en las rocas del área del cerro Huisamarca como en el depósito coluvial Quishuarane, informaciones que han servido para la formulación del modelo de alteraciones, modelo de litología y modelo del cuerpo del oro.

De acuerdo a las características del depósito se considera la factibilidad de explotar el yacimiento aurífero mediante una operación a tajo abierto.

1.2. Tipo de Mineral.

El cerro Huisamarca alberga un depósito aurífero del tipo epitermal de alta sulfuración. Dentro de la secuencia estratigráfica local, en la base se presentan dacitas porfiríticas sin alteración, en donde sobreyacen tufos de composición dacítica (tufos líticos de cristales), encontrándose en esta última la mineralización aurífera, asociada a la alteración sílice vuggy, oquerosa, con fuerte intensidad de

1.4. Ubicación del área del Proyecto

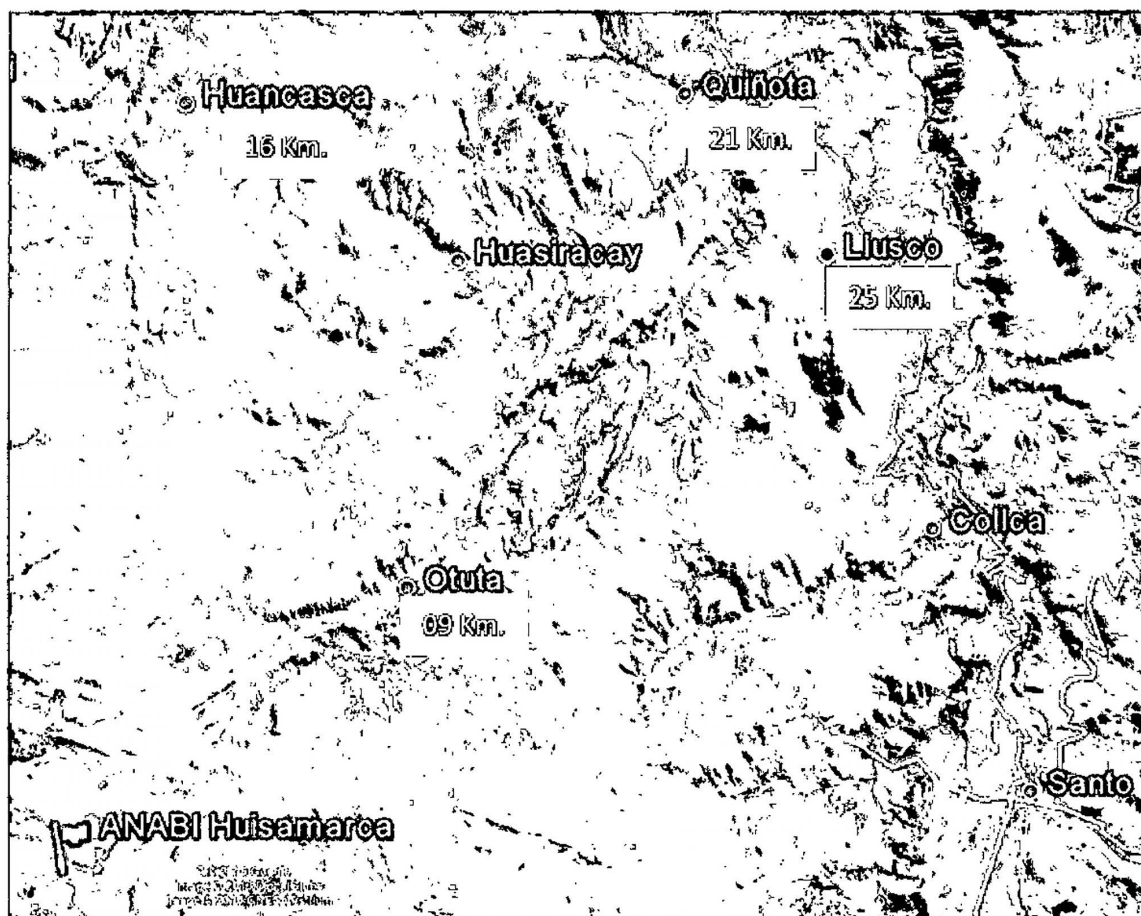
El proyecto está ubicado en las inmediaciones del Cerro Huisamarca, al margen derecho y curso medio de la quebrada Chonta, a una altitud comprendida entre 4 200 y 4 800 msnm, localizada en la zona oriental de la Cordillera Occidental Andina. Hidrográficamente se ubica entre las quebradas Chonta y Yanama que pertenece a la Microcuenca del río Antuyo, subcuenca del río Santo Tomás y Cuenca del río Apurímac. Políticamente pertenece al distrito de Quiñota, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cuzco.

Dentro del distrito de Quiñota, está considerada como área de influencia directa del proyecto la comunidad de Pumallacta; las comunidades de Ccollana y Quiñota como capital de distrito se consideran en el área de influencia indirecta del proyecto. Asimismo, se incluye a la comunidad de Huanca por la cercanía al proyecto, que se ubica en el distrito de Haqira, perteneciente a la provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac.

1.5. Distancias a Poblados del Entorno

El área de la concesión comprende a la comunidad campesina de Pumallacta. La distancia y ubicación desde el área del proyecto a los poblados del entorno, se aprecian en el grafico siguiente, información tomada de la carta nacional ubicaciones y distancias (lineales).

Gráfico 01: Distancias a Poblados más cercanos



1.6. VÍAS DE ACCESO

El proyecto ANABÍ, es accesible por 2 rutas que se mencionan en las siguientes tablas.

Tabla 01: Vía de acceso al área del Proyecto – Ruta 1

Ruta	Km.	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Lima - Cusco	580	Aérea	1
Cusco – Santo Tomás	237	Carretera Afirmada	6
Santo Tomás - Quiñota	45	Carretera Afirmada	1,3
Quiñota – Acoito	20	Trocha Carrozable	0,5
Acoito - Proyecto	15	Trocha Carrozable	0,6
TOTAL	877	---	9,4

Fuente: MTC

volquetes de 15 m³, motoniveladora, tractores, rodillo, cisterna, camión de combustible y camionetas. El acceso al tajo será a través de una rampa de 10 metros de ancho (incluye berma y drenaje) y una pendiente de 7%.

2. EQUIPOS, MATERIAL Y MÉTODOS.

Para el presente trabajo se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

2.1. EQUIPOS

- Estación Meteorológica Marca Davis Modelo Vantage Pro 2.
- Software The Weather linck.
- Bomba Escort.
- Cronómetro.

2.2. MATERIALES

- Cloruro de Sodio.
- Agua.
- Probetas Graduadas.
- Mangueras.
- Jarra de un litro graduada.
- Estacas de madera.
- Reglas metálicas.
- Data meteorológica correspondiente a SENHAMI.

2.3. MÉTODOS.

2.3.1. Tipo y nivel de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo básica experimental.



2.3.2. Método y diseño de investigación

El presente trabajo se realizará con un diseño experimental utilizando como método las premisas sobre cálculo de consumo de agua para riego (optimización del riego), los que tendrán como parámetros de cálculo la permeabilidad del suelo, la misma que se obtuvo de una prueba de campo en vías alternas a mina de uso restringido para el personal del área de Medio Ambiente, dicha vía va en dirección a la zona de residuos (Cancha de Transferencia).

Por otro lado el segundo parámetro a utilizar será la temperatura media anual, registrada mediante la estación meteorológica ubicada en campamento, adicional a ello se importará datos de evapo-transpiración del mismo, pero se puede calcular a partir de los datos de temperaturas y el índice de calor anual.

2.3.3. Población (Características y delimitaciones)

La población a estudiar son las siguientes rutas:

- Ruta Pad de lixiviación hacia tajo Huisamarca.
- Ruta Botadero Mina hacia Tajo Huisamarca.
- Ruta Pad de Lixiviación hacia Morrenas.
- Ruta Botadero Mina hacia Morrenas.
- Ruta Hacia Campamentos.
- Ruta hacia Quiñota.

2.3.4. MUESTRA

2.4. Ubicación espacio-temporal

El proyecto está ubicado en las inmediaciones del Cerro Huisamarca, al margen derecho y curso medio de la quebrada Chonta, a una altitud comprendida entre 4 200 y 4 800 msnm, localizada en la zona oriental de la Cordillera Occidental Andina. Hidrográficamente se ubica entre las quebradas Chonta y Yanama que pertenece a la Micro cuenca del río Antuyo, subcuenca del río Santo Tomás y Cuenca del río Apurímac. Políticamente pertenece al distrito de Quiñota, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

Dentro del distrito de Quiñota, está considerada como área de influencia directa del proyecto la comunidad de Pumallacta; las comunidades de Ccollana y Quiñota como capital de distrito se consideran en el área de influencia indirecta del proyecto. Asimismo, se incluye a la comunidad de Huanca por la cercanía al proyecto, que se ubica en el distrito de Haqira, perteneciente a la provincia de Cotabambas, departamento de Apurímac.

2.4.1. Técnicas de muestreo:

NO PROBABILÍSTICO.- Se considera un muestreo no probabilístico, puesto que aquí no se toman referencias de población/muestra, no existen fórmulas para determinar el punto de estudio, pero se encontraron bases para iniciar el presente estudio, el referente aquí son las emisiones de polvo que se medirán en diversos puntos y en diferentes meses del año.

Las pruebas se realizaron en la ruta que se dirige hacia campamentos.

CAPÍTULO II

MARCO CONCEPTUAL.

A. Ambiente.

El ambiente es el entorno vital es el conjunto de factores físicos –naturales, sociales, culturales, económicos y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en la que vive, determinando su forma, carácter, relación y supervivencia.

No debe considerarse pues, como medio envolvente el hombre, sino como algo indisoluble de él, y de su progreso

También se define como “zona, entorno y circunstancias en las que se encuentra un ser u objeto”, y como “Condiciones y circunstancias que rodean a las personas, animales o cosas”.

El ambiente lo determinan un conjunto de variables de estado (Factores Ambientales) Susceptibles a ser medidas y valorada en su calidad.

B. Bermas.

Espacio de separación, zanja o pared baja con que se separan los dos sentidos de circulación en una pista o carretera para impedir el paso de los vehículos al carril contrario

C. Calidad Ambiental

Definimos como calidad ambiental de un factor, al estado de conservación del factor considerado.

Es el estado físico, biológico y ecológico de un área o zona determinada de la biosfera en términos relativos a su unidad y a la salud presente y futura del hombre y a las demás especies animales y vegetales.

D. Cloruro de Magnesio

El cloruro de magnesio, de fórmula $MgCl_2$ es un compuesto mineral iónico a base de cloro, cargado negativamente, y magnesio cargado positivamente. El hexahidrato, cuando se calienta, puede experimentar una hidrólisis parcial. El cloruro de magnesio puede extraerse de salmueras o del agua de mar y es una gran fuente de magnesio, obtenido por electrólisis.

E. Compactación

Es el conjunto de procesos mecánicos y químicos (presión-disolución) que, como consecuencia del enterramiento, provocan la disminución del espesor del primitivo sedimento y la reducción de la porosidad. Se diferencia entre compactación mecánica y compactación química.

Debido al peso que deben soportar las vías al paso de los vehículos de acarreo, deben tener un afirmado con materiales que puedan soportar estos pesos sin que se deterioren rápidamente.

F. Cunetas.

Son zanjas que se hacen a ambos lados de la vía con el propósito de recibir y conducir el agua lluvia proveniente.

G. Contaminación.

Se entiende por contaminación la introducción directa o indirecta en el medio ambiente, de cualquier tipo de residuo peligroso que pueda resultar nocivo para la

salud humana, la vida vegetal o animal, dañe los recursos vivos de los ecosistemas, impida el disfrute de lugares de esparcimiento u obstaculice otros usos legítimos del ambiente.

H. Drenaje en las vías de acarreo.

Toda vía de acarreo debe tener sus drenajes bien definidos con el fin de resumir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega a la misma y evacuarla lo más rápido posible.

I. Ensayo DE C.B.R

(California Bearing Ratio).- El ensayo de C.B.R. mide la resistencia al corte (esfuerzo cortante) de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, la ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials) denomina a este ensayo, simplemente como “Relación de soporte” y está normado con el número ASTM D 1883-73.

Se aplica para evaluación de la calidad relativa de suelos de subrasante, algunos materiales de sub – bases y bases granulares, que contengan solamente una pequeña cantidad de material que pasa por el tamiz de 50 mm, y que es retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que la fracción no exceda del 20%.

Este ensayo puede realizarse tanto en laboratorio como en terreno, aunque este último no es muy practicado.

J. Equilibrio evaporativo

Presión del vapor de agua frente a la temperatura. (760 Torr = 1 atm).

Si la evaporación ocurre en un recipiente cerrado, las moléculas que escapan del líquido se acumulan en forma de vapor arriba del líquido. Muchas de esas moléculas

regresan al estado líquido. Cuando el proceso de escape y regreso alcanza un equilibrio, el vapor es llamado saturado y no ocurren cambios adicionales en la presión de vapor o en la temperatura del líquido.

K. Evaporación

La evaporación es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se produce a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada aquella. No es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición. Cuando existe un espacio libre encima de un líquido, una parte de sus moléculas está en forma gaseosa, al equilibrarse, la cantidad de materia gaseosa define la presión de vapor saturante, la cual no depende del volumen, pero varía según la naturaleza del líquido y la temperatura. Si la cantidad de gas es inferior a la presión de vapor saturante, una parte de las moléculas pasan de la fase líquida a la gaseosa: eso es la evaporación. Cuando la presión de vapor iguala a la atmosférica, se produce la ebullición.

En hidrología, la evaporación es una de las variables hidrológicas importantes al momento de establecer el balance hídrico de una determinada cuenca hidrográfica o parte de esta. En este caso, se debe distinguir entre la evaporación desde superficies libres y la evaporación desde el suelo. La evaporación de agua es importante e indispensable en la vida, ya que el vapor de agua, al condensarse se transforma en nubes y vuelve en forma de lluvia, nieve, niebla o rocío.

Vista como una operación unitaria, la evaporación es utilizada para eliminar el vapor formado por ebullición de una solución o suspensión líquida.

L. Evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración (ET) es el proceso por el cual el agua es transferida desde la superficie terrestre hacia la atmósfera. Incluye tanto la evaporación de agua en forma sólida como líquida directamente del suelo o desde las superficies vegetales vivas o muertas (rocío, escarcha, lluvia interceptada por la vegetación), como las pérdidas de agua a través de las superficies vegetales, particularmente las hojas.

La evapotranspiración depende, entre otros, de dos factores muy variables y difíciles de medir: el contenido de humedad de suelo y el desarrollo vegetal de la planta. Por esta razón Thornthwaite (1948) introdujo el término de evapotranspiración potencial o pérdidas por evapotranspiración, en el doble supuesto de un desarrollo vegetal óptimo y una capacidad de campo permanentemente completa.

En torno al concepto de evapotranspiración, existen algunos términos a tener en cuenta:

- Uso consuntivo del agua: cantidad de agua consumida en una zona, al satisfacer, total o parcialmente. Para el caso de demanda agrícola, los términos uso consuntivo y evapotranspiración pueden considerarse como sinónimos.
- Demanda de agua para riego: estrechamente relacionada con el concepto de evapotranspiración, pero no son equivalente, pues tienen como base de cálculo la diferencia entre evapotranspiración potencial y evapotranspiración real.
- Tampoco son sinónimos uso consuntivo agrícola y demanda de agua para riego. Esta debe considerar las pérdidas por aplicación y conducción del

agua además de las necesidades estrictas y aquel debe incluir la parte de precipitación que se pierde por evapotranspiración.

- La evapotranspiración es un componente fundamental del balance hidrológico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera. Su cuantificación se hace necesaria en contextos tan diferentes como la producción vegetal, la planificación y la gestión de recursos hídricos o estudios ambientales y ecológicos.

a. Evapotranspiración Potencial

El término Evapotranspiración Potencial (ETP) fue acuñado por primera vez y de forma independiente por Penman (1948) y Thornthwaite (1948) en un intento de optimizar el contenido en el suelo y en el desarrollo vegetal. Definieron ETP como la tasa máxima de evaporación de una superficie completamente sombreada por un cultivo verde, sin limitación en el suministro hídrico.

La ETP sería la evaporación que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas.

Pero como la definición de ETP resultaba poco útil, desde el punto de vista de su aplicación, dando lugar a interpretaciones diversas, se desarrolló a nivel agronómico el concepto de Evapotranspiración de referencia (ET_r), llegándose a la conclusión que para obtener valores razonables de ETP, la cubierta vegetal debería quedar explícita en la definición de ETP.

b. Evapotranspiración Real (suelo)

Es la evapotranspiración real que se produce en las condiciones reales existentes.

El método más conocido es el de Penman-Monteith (1965) derivado de la ecuación de combinación. Combina la ecuación del balance de energía y los gradientes de humedad, temperatura y velocidad del viento. Con ella se elimina la necesidad de medidas en la superficie evaporante y medidas a diversas alturas sobre la superficie como requieren los métodos del "gradiente" y del "perfil del viento" respectivamente, como se venía haciendo hasta la introducción de esta ecuación. Combina información meteorológica y fisiológica y asume que las copas vegetales pueden asimilarse a una superficie uniforme como una única fuente de evaporación (big-leaf), lo que supone una considerable simplificación de la realidad, particularmente cuando se aplica a cubiertas estratificadas (multicapas) o con distintas superficies evaporantes (multifuentes).

La distribución dispersa y agrupada en mosaicos de vegetación típica de regiones semiáridas constituye un ejemplo de dónde no se satisface la fórmula de Penman-Monteith, por lo que trabajos posteriores extendieron el modelo a dos o más fuentes. La interacción entre fuentes se estudia como combinación de resistencias en serie y paralelo hasta una altura de referencia, por encima de la vegetación donde los efectos de la heterogeneidad espacial ya no son perceptibles.

M. Ensayo C.B.R

El ensayo de CBR se utiliza para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente utilizados como bases y subrasantes bajo el pavimento de carreteras y aeropistas, la siguiente tabla da una clasificación típica:

Tabla 02: Requisitos de los materiales

Tipo de Material	Norma de Ensayo	Seleccionados	Adecuados	Tolerables
Tamaño máximo	INV-E-123-07	75 mm	100 mm	150 mm
Pasa tamiz de 75 μ m (No.200)	INV-E-123-07	$\leq 25\%$ en peso	$\leq 35\%$ en peso	$\leq 35\%$ en peso
Pasa tamiz de 2 mm (No 10)	INV-E-123-07	$\leq 80\%$ en peso	$\leq 80\%$ en peso	-
C.B.R. de laboratorio (I)	INV-E-148-07	$\geq 10\%$	$\geq 5\%$	$\geq 3\%$
Expansión en prueba C.B.R.	INV-E-148-07	0%	$< 2\%$	$< 2\%$
Contenido de materia orgánica	INV-E-121-07	0%	$< 1\%$	$< 2\%$
Límite líquido	INV-E-125-07	< 30	< 40	< 40
Índice plástico	INV-E-126-07	< 10	< 15	-

Fuente: NTC IDU 320-11

N. Fenómeno físico

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 elevado).

Con solamente una proporción pequeña de moléculas localizada cerca de la superficie y moviéndose en la dirección correcta para escapar del líquido en un cierto instante, la tasa de evaporación es limitada. Además, como las moléculas de mayor energía escapan y las que quedan tienen menor energía cinética media, la temperatura

del líquido se reduce. Este fenómeno también es llamado de enfriamiento evaporativo. Un ejemplo para dicho fenómeno es la transpiración (sudor).

O. Humedad

Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se puede expresar de forma absoluta mediante la humedad absoluta, o de forma relativa mediante la humedad relativa o grado de humedad. La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

La humedad tiene unidades porcentuales y se expresa con la siguiente fórmula:

$$\left[\phi = 100 * \frac{n_v}{n_{vs}} \right] \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

N_v : número de moles del vapor de agua en el aire.

N_{vs} : número de moles del vapor de agua en el aire saturado.

P. Impacto

Conjunto de consecuencias provocadas por un hecho o actuación que afecta a un entorno o ambiente social o natural.

- **Impacto Ambiental**

Se entiende por impacto ambiental el efecto que produce una determinada acción sobre el ambiente en sus distintos componentes.

Q. Mantenimiento en las vías

El mantenimiento constituye básicamente la realización de dos actividades, el riego y la nivelación, para el primero se utilizan camiones aljibe de capacidad variable, mientras que para el segundo se utiliza una motoniveladora.

R. Material particulado (MP)

El Material Particulado (MP) es una compleja mezcla de partículas suspendidas en el aire las que varían en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones. Las partículas de fuentes móviles tienden a caer en una distribución bimodal referidas como “modo de núcleos” y “modo de acumulación”. Las partículas de modo de núcleos son de un diámetro inferior a 0,05 micrones (micrón = 1 millonésima de metro) y están generalmente compuestas de hidrocarburos, sulfuro y cenizas metálicas. Las partículas de modo de acumulación tienen un rango de tamaño desde 0,05 a 0,5 micrones y contienen carbono elemental y orgánico, nitrato, sulfato, y diferentes cenizas metálicas.

Después de su emisión, las partículas experimentan reacciones químicas en el aire, por esto su composición y tamaño varían dependiendo de la proximidad a las fuentes, el clima y otros factores.

Las partículas ambientales generalmente caen dentro de una distribución de tres modos: ultrafino (< 0,1 micrones), fino (entre 0.1 y 1 micrones), y grueso (>1 micrones). La Agencia de Protección del Medioambiente de Estados Unidos y otras agencias alrededor del mundo regulan el nivel de partículas en el ambiente de un diámetro inferior a 10 micrones (MP10). Algunas agencias, incluyendo la EPA de Estados Unidos, también regulan las partículas inferiores a 2,5 micrones de diámetro (MP2.5). Un gran número de estudios epidemiológicos en la última década han

reportado una relación entre la exposición a corto plazo a MP10 y MP2.5 y el aumento en la morbilidad y mortalidad, particularmente entre aquellas personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Recientemente, los científicos han comenzado también a investigar los efectos de las partículas ultra finas. Aunque estas partículas contribuyen muy poco a la masa de MP10 y MP2.5, están presentes en gran cantidad. Algunos científicos han propuesto que las partículas ultra finas pueden ser especialmente tóxicas: las partículas más pequeñas tienen un área total de superficie mayor que aquellas partículas más grandes de masa igual, tendrían más probabilidades de penetrar e interactuar con células más profundamente en el pulmón que las partículas más grandes, y se piensa que se mueven rápidamente a tejidos exteriores de las vías respiratorias. Una revisión de los estudios que comparan los efectos de partículas de diferentes tamaños lleva a las siguientes conclusiones:

- a. Estudios epidemiológicos, usando múltiples mediciones de exposición y diferentes períodos, muestran una asociación entre la cantidad de material particulado ultra fino y la mortalidad, función respiratoria, o síntomas respiratorios, pero estos efectos también están asociados a otros contaminantes (sulfatos, MP2.5, MP10)
- b. Repetidos estudios de inspiración intra-traqueal indican que las partículas ultra finas inducen a respuestas inflamatorias más fuertes que aquellas partículas de otros tamaños; y
- c. Estudios de inhalación no han producido resultados consistentes, sugiriendo que la composición y solubilidad de las partículas – así como su tamaño- son propiedades importantes.

El sistema inmunológico se comunica entre sus componentes y con el resto del cuerpo usando proteínas como mensajeros químicos, muy parecido al sistema

nervioso que utiliza señales eléctricas. Los compuestos de los gases de escape del diésel pueden interferir con la inmunidad impactando este sistema de comunicación, produciendo reacciones inmunes aumentadas, reprimidas o desviadas las cuales son todas perjudiciales para el individuo.

El material particulado participaría en:

- Origen de procesos inflamatorios
- Daño funcional en los pulmones
- Aumento en el riesgo de infarto cardíaco
- Efectos sistémicos en todo el organismo a través de la sangre
- Efectos cancerígenos
- Aumento de muertes súbitas

S. Mitigación

Se entiende por mitigación al conjunto de medidas que se pueden tomar para contrarrestar o minimizar los impactos ambientales negativos que pudieran tener algunas intervenciones antrópicas. Estas medidas deben estar consolidadas en un Plan de mitigación, el que debe formar parte del estudio de impacto ambiental.

El propósito de la mitigación es la reducción de la vulnerabilidad, es decir la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento.

T. Modelo Matemático

Un modelo matemático se define como una descripción desde el punto de vista de las matemáticas de un hecho o fenómeno del mundo real, desde el tamaño de la población, hasta fenómenos físicos como la velocidad, aceleración o densidad. El

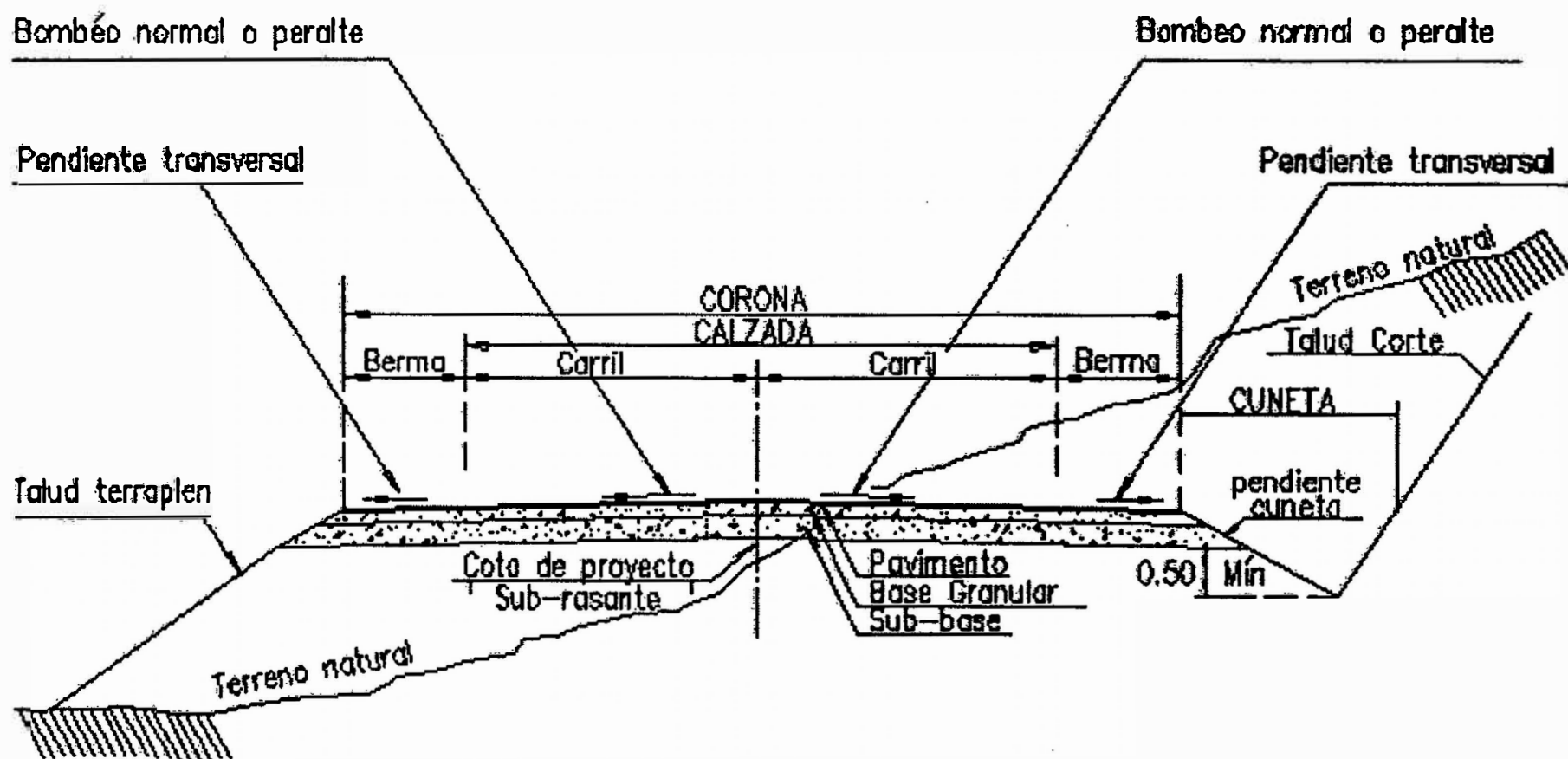
objetivo del modelo matemático es entender ampliamente el fenómeno y tal vez predecir su comportamiento en el futuro

a. Pista o Rampa Minera

La vía es una faja de terreno con un plano de rodadura especialmente dispuesto para el tránsito adecuado de vehículos y está destinada a comunicar entre sí los frentes de explotación con los botaderos y centros de acopio.



Gráfico 03: Corte de Sección Transversal de vías mineras.



U. Polvo

Polvo es un nombre genérico para las partículas sólidas con un diámetro menor a los 500 micrómetros y, en forma más general, materia fina. En la Tierra, el polvo que se encuentra en la atmósfera terrestre proviene de varias fuentes, por ejemplo: polvo del suelo levantado por el viento, erupciones volcánicas, incendios y polución. El polvo disperso en el aire es considerado un aerosol y puede tener efectos sobre las propiedades y comportamiento de la atmósfera frente a la radiación solar y efectos significativos en el clima.

El polvo es responsable de la enfermedad del pulmón, neumoconiosis, que incluye a la enfermedad del pulmón negro, que se presenta entre los mineros del carbón. Todos estos riesgos han determinado la adopción de un número de leyes que regulan las condiciones ambientales en los lugares de trabajo.

V. Riego

El riego consiste en aportar agua al suelo para que este tenga ciertas características que permitan aprovecharlo de mejor manera.

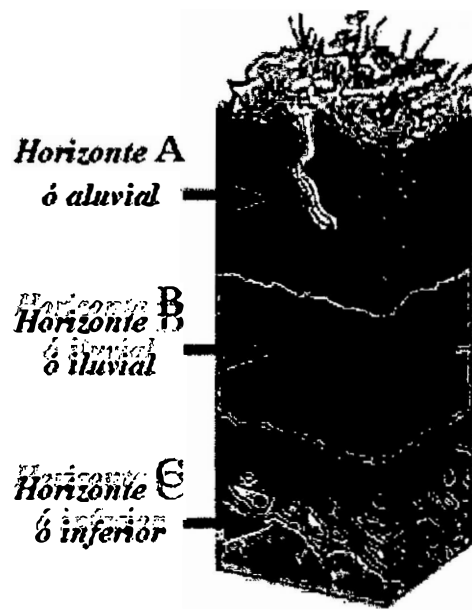
En la industria minera, uno de sus usos principales de agua es en el riego de vías Internas para reducir el polvo en suspensión. Cifras disponibles indican que el agua utilizada en riego de caminos puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una operación minera.

W. Suelo

Es común creencia la de que el suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, no sujetas a ninguna organización. Pero en realidad se trata de un

conjunto con organización definida y propiedades que varían vectorialmente. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian mucho más rápidamente que en la horizontal.

Gráfico 04: Perfil de Suelo



X. Temperatura ambiental

La temperatura es una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, en general, medido por un termómetro.

Es aquella relacionada directamente con la temperatura que puede tener la atmósfera y se refiere al nivel de calor que tiene el aire en un determinado sitio y un momento específico.

A su vez también dependen de los valores o elementos que componen el clima, al igual que la humedad, las precipitaciones, el viento y la presión atmosférica

Y. Unidades

La unidad más usual para expresar las pérdidas por evapotranspiración es, el mm de altura de agua, lo que equivale a $10 \text{ m}^3/\text{Ha}$. La medida siempre se refiere a un determinado intervalo de tiempo.

Z. Viento

El viento es el flujo de gases a gran escala. En la tierra, el viento es el movimiento en masa del aire en la atmósfera en movimiento horizontal. Günter D. Roth lo define como «la compensación de las diferencias de presión atmosférica entre dos punto.

CAPÍTULO III

3. MARCO TEÓRICO VARIABLE HIDROLÓGICA

La razón entre la pérdida de calor de una superficie de agua por evaporación y la pérdida de calor debido a la convección, independiente de la velocidad del viento es dada por (Bowen-Sartori).

Razón de Perdida de calor de una superficie de agua por convección en relación con la pérdida de calor de una superficie de agua por evaporación.

$$\frac{Q_{c,pa}}{Q_e} = \frac{0.46(T_p - T_a)}{(P_{wp} - P_a) p / 760} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

$Q_{c,pa}$: Es la pérdida de calor de una superficie de agua por convección en $W / (m^2 \cdot ^\circ K)$,

Q_e : Es la pérdida de calor de una superficie de agua por evaporación en $W / (m^2 \cdot ^\circ K)$,

T_p y T_a : Son las temperaturas del agua y del aire en Kelvin (o Celsius) y

P_{wp} y P_a : Son las presiones del vapor de la superficie del agua y del aire (mm Hg) y

P : Es la presión barométrica, con todas presiones en mmHg (Bowen, 1926).

m^2 : Metros cuadrados.

W : Watts

La ecuación de Bowen fue modificada por Sartori (1987) que introdujo un parámetro que permite el cálculo de los tres casos de flujo de masa que pueden ocurrir cuando una superficie libre de agua es expuesta al aire, cuyas situaciones no pueden ser calculadas solamente con la ecuación de Bowen. Así, la ecuación de Bowen-Sartori queda:

$$\frac{Q_{c.pa}}{Q_c} = \frac{0.46(T_p - T_a) p}{P_{wn} 760}$$

Ecuación 3.2

3.2. Factores que influyen en la tasa de evaporación

- Concentración de la sustancia que se evapora en el aire. Si el aire ya tiene una alta concentración de la sustancia que se evapora, entonces la sustancia se evaporará más despacio.
- Concentración de otras sustancias en el aire. Si el aire ya está saturado con otras sustancias, puede tener una capacidad inferior para la sustancia que se evapora.
- Tasa de flujo de aire. Si aire fresco se mueve sobre la sustancia todo el tiempo, la concentración de la sustancia en el aire tendrá menos probabilidad de subir con el tiempo, potenciando así una evaporación más rápida. Esto resulta en una capa divisoria en la superficie de evaporación que disminuye con la velocidad de flujo, disminuyendo la distancia de difusión en la capa estancada.
- Concentración de otras sustancias en el líquido (impurezas). Si el líquido contiene otras sustancias, tendrá una capacidad inferior para la evaporación.
- Temperatura de la sustancia. Si la sustancia está más caliente, la evaporación será más rápida.

- **Fuerzas intermoleculares.** Cuanto mayor son las fuerzas que mantienen las moléculas juntas en el líquido, más energía será necesaria para evaporarlas.
- **Área superficial.** Una sustancia que tiene un área superficial más grande se evaporará más rápido, ya que hay más moléculas superficiales que son capaces de escaparse.
- **Calentamiento.** Cuanto más grueso es el recipiente donde se está calentando, más se reduce la evaporación del agua, debido a que se dedica menos calor a la propia evaporación.

En los EE.UU, el Servicio Meteorológico Nacional mide la tasa actual de evaporación en "ollas" estandarizadas de agua abiertas al aire libre en varias localizaciones a escala nacional. Otros servicios hacen lo mismo alrededor del mundo. Los datos estadounidenses son compilados en un mapa de evaporación anual. Las medidas varían entre 30 y más de 120 pulgadas por año.

3.3. Generación de Polvo.

La problemática de generación de polvo en las unidades mineras genera los siguientes conceptos:

3.3.1. La Temperatura media anual (T.m.a.):

Se obtiene sumando todas las temperaturas mensuales y dividiendo por 12.

$$\boxed{[T^a (E) + T^a (F) + T^a (M) + \dots + T^a (D)] / 12}$$

Ecuación 3.3

- Climas cálidos:** Si la T.m.a. es superior a 20°C.
- Climas templados:** Si la T.m.a. se sitúa entre 8 y 20°C.

- c. **Climas fríos:** Si la T.m.a. es inferior a 8°C. Ningún mes la T. media mensual supera los 10°C.

3.4. Parámetros de diseño y control de vías

3.4.1. Pendiente.

La pendiente en un punto del terreno se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto y la vertical.²

3.4.2. Ancho.

La vía debe conservar un ancho mínimo de 3 ½ veces el ancho del vehículo de mayor capacidad que transite en la mina. El ancho de las vías que se recomienda puede estimarse con la siguiente expresión:

$$\boxed{A = a (0.5 + 1.5 n)} \quad \text{Ecuación 3.4}^3$$

Dónde:

A= Anchura total de la vía (m)

a= Anchura del vehículo en (m)

n = Número de carriles deseados

3.4.3. Peralte.

Es la sobreelevación del lado exterior de la curva que se utiliza para contrarrestar la fuerza centrífuga que aparece en las curvas, originando

² Felicísimo, 1994: 102, Wood, 1996, Ap 4.2.1

³ Centro Nacional Minero – SENA Regional Boy, 2002, INFRAESTRUCTURA MINERA A CIELO ABIERTO, SENA, Pag. 04.

deslizamientos transversales e incluso vuelcos, el cual se calcula a partir de la formula siguiente:

$$e = \frac{v^2}{127.14 \cdot R} - f$$

Ecuación 3.5

Dónde:

e = Tangente del ángulo del plano horizontal de la vía

V = Velocidad (Km. / h)

R = Radio de la curva (m)

f = Coeficiente de fricción (%)

3.4.4. Ensayo de C.B.R. (Nch 1852 of.81)

El número CBR se obtiene como la relación de la carga unitaria en Kg/cm² (libras por pulgadas cuadrada, (psi)) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón (con un área de 19.4 cm²) dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas con respecto a la carga unitaria patrón requerida para obtener la misma profundidad de penetración en una muestra estándar de material triturada, en ecuación, esto se expresa:

$$CBR = \frac{\text{Carga Unitaria de ensayo}}{\text{Car a unitaria atrón}} * 100$$

Ecuación 3.6

Los valores de carga unitaria que deben utilizarse en la ecuación son:

Tabla 03: Carga patrón de ensayo CBR

Penetración		Carga unitaria patrón		
mm.	Pulgada	MPa	Kgf/cm ²	PSI
2,54	0,1	6,90	70,00	1000
5,08	0,2	10,30	105,00	1500
7,62	0,3	13,10	133,00	1900
10,16	0,4	15,80	162,00	2300
12,7	0,5	17,90	183,00	2600

Fuente: NTP 339.145:1999, SUELOS. Método de ensayo de CBR de suelos compactados en el laboratorio.

El número CBR usualmente se basa en la relación de carga para una penetración de 2.54 mm (0,1”), sin embargo, si el valor del CBR para una penetración de 5.08 mm (0,2”) es mayor, dicho valor debe aceptarse como valor final de CBR.

Los ensayos de CBR se hacen usualmente sobre muestras compactadas al contenido de humedad óptimo para el suelo específico, determinado utilizando el ensayo de compactación estándar. A continuación, utilizando los métodos 2 o 4 de las normas ASTM D698-70 ó D1557-70 (para el molde de 15.5 cm de diámetro), se debe compactar muestras utilizando las siguientes energías de compactación:

Tabla N° 04: Energías de Compactación

	Método	Golpes	Capas	Peso del martillo N
D698	2 (suelos de grano fino)	56	3	24,5
	4 (suelos gruesos)	56	3	24,5
D1557	2 (suelos de grano fino)	56	5	44,5
	4 (suelos gruesos)	56	5	44,5

Fuente: Designación: D 698 – 07 el Métodos de prueba estándar para Laboratorio de compactación Características del Uso del Suelo Esfuerzo normal

Tabla N° 05: Clasificación de suelos para infraestructura de Pavimentos

CBR	Clasificación general	Usos	Sistema de Clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	muy pobre	subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
7	obre a regula	Subrasante	OH, CH, M	A4, A5, A6, A7
20	Regular	sub-base	OL, CL, ML, SC	A2, A4, A6, A7
20-50	Buena	Base, subbase	GM, GC, W, SM	A1b, A2.5, A3
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: NTP 339.141:1999, SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kNm/m³ (56000 pie-lbf/pe³))

Donde:

Letra		Segunda Letra	
Símbolo	Definición	Letra	Definición
G	Grava	P	pobrementemente graduado (tamaño de partícula uniforme)
S	Arena	W	bien graduado (tamaños de partícula diversos)
M	Limo	H	alta plasticidad
C	Arcilla	L	baja plasticidad
O	Orgánico		

3.4.5. Razón de Soporte (CBR)

El valor del CBR es la relación expresada en porcentaje entre la carga real, que produce una deformación establecida y la que se requiere para producir igual deformación establecida y la que se requiere para producir igual deformación en un material chancado y normalizado, se expresa por la relación:

$$CBR = \frac{P}{P_i} * 100 \quad \text{Ecuación 3.7}$$

P : Carga obtenida en el ensayo (MPa).

P_i : Carga unitaria normalizada (MPa).

Las cargas normalizadas se dan en la tabla

Tabla N° 06: Tensiones normalizadas

PENETRACION	TENSIONES NORMALIZADAS DE PRUEBA MPa	TENSIONES NORMALIZADAS PATRONES MPa
2.54	6.9	70
5.08	10.3	105
7.62	13.1	133
10.16	15.8	162
12.7	17.9	183

Fuente: NTP 339.172:2002, SUELOS. Método de prueba normalizada para el contenido de humedad de suelo y roca in situ por métodos nucleares (poca profundidad).

Con el resultado del CBR se puede clasificar el suelo usando la tabla N° 05.

Tabla N° 07: Clasificación del suelo de acuerdo al CBR

CBR	CLASIFICACION
0 – 5	Subrasante muy mala
5 – 10	Subrasante mala
10 – 20	Subrasante regular a buena
20 – 30	Subrasante muy buena
30 – 50	Súbase buena
50 – 80	Base buena
80 – 100	Base muy buena

Fuente: NTP 339.128:1999 SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico

3.4.6. Evapotranspiración Real (suelo)

En general, los modelos que toman de partida la ecuación de combinación, se basan en la teoría de la difusión turbulenta (teoría de la K, K-Theroy), para describir los flujos de calor, vapor de agua y momento a través de las copas. El uso de esta teoría para vegetación dispersa ha sido cuestionado tanto desde el punto de vista teórico como observacional., ya que asume que la longitud característica de los remolinos dominantes sea menor que la distancia sobre la cual los gradientes cambian apreciablemente. Esto no siempre ocurre en los rodales de vegetación dispersa.

CAPÍTULO IV

4. Formulación de Hipótesis

4.1. Hipótesis general

Con el modelo matemático determinado se calcula el tiempo de riego efectivo en las vías mineras de la unidad minera ANABI S.A.C. 2013

4.2. Hipótesis específicas

- Los parámetros ambientales influyen directamente en el cálculo del tiempo de riego efectivo de las vías de la unidad minera Anabí.
- Las condiciones físicas de la vía son directamente proporcional al tiempo de riego efectivo en la unidad minera Anabí.

4.3. Variables y definición operacional de variables:

Tabla 08: Variables y definición operacional.

VARIABLES	INDICADORES	INDICES
Variable independiente:	Temperatura ambiental	Temperatura Promedio
PARAMETROS AMBIENTALES	Viento	Velocidad promedio
Variable Dependiente:	Suelo	Tipo de Material
CONDICIONES FÍSICAS DE LA VIA	Humedad	Porcentaje
	Compactación	Grado de compactación de la superficie de rodadura.
	Trafico de Volquetes	Frecuencia
		Nº de ciclos
		Emisión de polvo

Fuente: Propia

4.4. Condiciones para rechazar o aceptar las hipótesis

Si el valor calculado con el modelo matemático en horas que representará el resultado del tiempo óptimo de regado, cumple los objetivos propuestos en el proyecto, manifestándose este en la disminución de la emisión de polvo con PM2.5 y PM10 entonces se aceptará el modelo matemático como un postulado valido y la hipótesis comprobada.

La aceptación del modelo matemático será únicamente aceptado si su utilización para el cálculo de tiempos de riego optimiza el uso del recurso hídrico.

Los tiempos de los ciclos calculados demostrarán que han disminuido las variables de generación de polvo e intervalos de riego, lo que será además susceptible a comprobación con un control de tiempos o con el cumplimiento del plan de riego.

La visibilidad deberá incrementar para los operadores, esto será respaldado por los resultados de las hipótesis anteriores y por un video que demuestre la estabilidad que ofrece el riego programado.



CAPÍTULO V

5. PARTE EXPERIMENTAL

5.1. Descripción de la experimentación

El presente trabajo se realizó en la unidad minera ANABI del grupo ARUNTANI, consistirá en determinar el tiempo óptimo de regado de vías, puesto que en toda operación minera de superficie uno de los principales problemas observados es la generación de polvo, teniendo como consecuencias principales: impacto a los ecosistemas y problemas sociales con las comunidades aledañas, por mencionar los principales.

Lo que se realizará para el presente trabajo es calcular el tiempo óptimo de regadío de vías, esto en base a dos parámetros: las temperaturas que se registrarán por la estación meteorológica ubicada en el campamento (temperaturas mínimas y máximas, horas de exposición de luz solar, estaciones del año) y el tipo de suelo (compactación, composición cualitativa, permeabilidad).

5.2. Distancias de vías (internas y externas al proyecto).

5.2.1. Vías internas.

Longitud de las vías.- Las vías dentro de toda operación superficial son cambiantes según el requerimiento del minado y del planeamiento de minado, por consiguiente se considerará las distancias promedio mensuales para realizar un promedio calculado con las medias mensuales, añadiendo a esta distancia un 10 % adicional como margen de seguridad en los cálculos.

Ancho de vías.-El ancho de vías promedio en el interior del proyecto se considera siete (07) metros.

5.2.2. Vías externas.

Para el presente trabajo se tomó en consideración las vías de tránsito internas del proyecto, así como vías hacia el centro poblado cercano, por lo que se representa en dos cuadros.

En caso de las rutas de proyecto se consideran longitudes variables, puesto que las rampas hacia los distintos componentes son variables de acuerdo al dinamismo del tajo y se consideró un promedio del año de estudio y sus variaciones, adicionándole un 10% como margen adicional de cálculo.

Tabla 09: Cuadro de distancia de vías

	PAD-H m	B.M-H m	PAD-M m	B.M.-M (m)
ENERO	2,107	1,750	3,140	3,190
FEBRERO	2,070	1,708	3,120	2,860
MARZO	2,033	1,646	3,110	3,020
ABRIL		1,879	3,050	1,903
MAYO			2,918	1,569
JUNIO			2,897	1,625
JULIO			3,239	2,070
AGOSTO		1,572		2,070
SEPTIEMBRE		1,532		2,120
OCTUBRE	2,232	1,532	3,287	2,120
NOVIEMBRE	2,015	1,500	3,058	2,047
DICIEMBRE	2,100	1,550	2,758	2,048
MIN	2,015	1,500	2,758	1,569
MAX	2,427	1,967	3,287	3,190
PROM	2,196	1,688	3,092	2,220
adicional 10%. m	2,415	1,856	3,401	2,442
	Anabi- Quiñota m	gart. Grifo m	base- rifo m	
RUTA	20,000	1,000	2,000	
Adicional 10% al promedio m	22,000	1,100	2,200	

Fuente: Area de Planeamiento.

Elaboración: Propia.

Donde:

PAD-H (m) : Desde Pad Lixiviación hasta Tajo Huisamarca.

B.M-H (m) : Desde Botadero Mina hasta Tajo Huisamarca.

PAD-M (m) : Desde Pad lixiviación hasta Cantera Morrenas.

B.M.-M (m) : Desde Botadero Mina hasta cantera Morrenas.

5.3. Acopio de datos de estación Meteorológica

Posteriormente se procedió a registrar los datos de la estación meteorológica correspondiente a todo un año, cabe aclarar que la estación meteorológica colecta datos como humedad, temperatura, presión atmosférica, evapotranspiración, velocidad y dirección del viento, etc., pero para el presente trabajo solo utilizaremos la temperatura como dato de la estación, puesto que a partir de ese dato se puede obtener mediante algunas fórmulas la Evapotranspiración, en caso de que se pueda aplicar en otras zonas donde el dato de evapotranspiración no se obtenga por no disponer de información meteorológica, se procede al cálculo correspondiente.

Se calcula la evapotranspiración con las siguientes fórmulas que corresponden al método Thornthwaite:

5.3.1. Cálculo temperatura Medio Mensual

Se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{T} = \frac{\sum(T)}{n}$$

Ecuación 5.1

Donde:

\bar{T} : Temperatura media mensual (°C).

$\sum(T)$: Sumatoria de las temperaturas diarias (°C).

n : número de días al mes

Tabla 10: Temperaturas medias mensuales

	Mes	Temperatura (°C)
2010	Julio	4.90
	Agosto	5.56
	Septiembre	5.65
	Octubre	5.10
	Noviembre	6.09
	Diciembre	4.47
2011	Enero	4.69
	Febrero	3.67
	Marzo	4.14
	Abril	4.65
	Mayo	4.63
	Junio	4.14

Fuente: Estación meteorológica ANABI.

Elaboración: Propia.

5.3.2. Cálculo del índice de calor Mensual:

Se calcula en base a la siguiente ecuación:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

Ecuación 5.2

Donde:

i : índice de calor mensual

t : temperatura media mensual (°C)

$$i_{\text{Julio}} = \left(\frac{4.90}{5}\right)^{1.514} = 0.97$$

Tabla 11: Índice de calor Mensual

		i
2010	Julio	0.97
	Agosto	1.17
	septiembre	1.20
	octubre	1.03
	noviembre	1.35
	diciembre	0.84
2011	enero	0.91
	febrero	0.63
	marzo	0.75
	Abril	0.90
	mayo	0.89
	junio	0.75

Fuente: Estación meteorológica ANABI.

Elaboración: Propia.

5.3.3. Se calcula el “índice de calor anual (I)

Sumando los 12 valores de i:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Ecuación 5.3

$$I = 0.97+1.17+1.20+1.03+1.35+0.85+0.91+0.63+0.75+0.90+0.89+0.75 =$$

11.39

Lo que se obtiene con el resumen en la siguiente tabla:

Tabla 12: Índice de calor anual

		i
2010	Julio	0.97
	Agosto	1.17
	septiembre	1.20
	octubre	1.03
	noviembre	1.35
	diciembre	0.84
2011	enero	0.91
	febrero	0.63
	marzo	0.75
	Abril	0.90
	mayo	0.89
	junio	0.75
		11.39

Fuente: Estación meteorológica ANABI.

5.3.4. Cálculo de la ETP mensual “sin corregir”

Se calcula la ETP sin corregir mediante la siguiente ecuación:

$$ETP_{\text{sin corr.}} \equiv 16 \left(\frac{10+t}{I} \right)^a$$

Ecuación 5.4⁴

Donde:

ETP sin corr = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t = temperatura media mensual, °C

I = índice de calor anual, obtenido en el punto 5.3.3

$$a = 675 \times 10^{-9} \times I^3 - 771 \times 10^{-7} \times I^2 + 1792 \times 10^{-5} I + 0,49239$$

Ec. 5.5

a = 0.69169 (constante)

⁴ Métodos climáticos basados en la temperatura del aire, Thornthwaite, Blaney-Criddle, Hargreaves, Linaere

Tabla 13: Evapotranspiración sin corregir mensual

		EPT sin corr
2010	Julio	43.61
	agosto	47.57
	septiembre	48.13
	octubre	44.85
	noviembre	50.68
	diciembre	40.94
2011	enero	42.31
	febrero	35.79
	marzo	38.86
	Abril	42.07
	Mayo	41.93
	Junio	38.85

Fuente: Estación meteorológica ANABI.

Elaboración: Propia.

5.3.5. Cálculo de la ETP corregida.

Corrección para el n° de días del mes y el n° de horas de sol, la evapotranspiración potencial según Thornthwaite se calcula con la siguiente ecuación:

$$ETP = ETP_{SIN\ CORR.} \frac{N}{d} \frac{d}{12.30}$$

Ecuación 5.6

Donde:

ETP : Evapotranspiración (mm/min)

N : Número de horas de sol.

d : Número de días al mes.

Tabla 14: Evapotranspiración Mensual corregida

		ETP (mm/mes)
2010	Julio	37.55
	Agosto	37.00
	Septiembre	37.30
	Octubre	33.64
	Noviembre	34.92
	Diciembre	27.29
2011	Enero	25.51
	Febrero	21.58
	Marzo	25.91
	Abril	32.60
	Mayo	31.45
	Junio	33.45

Fuente: Estación meteorológica ANABI.

Elaboración: Propia.

5.3.6. Cálculo del C.B.R.

Por otro lado se elaboró los cálculos del índice de CBR (California Bearing Ratio), que se calculó con la siguiente fórmula.

$$C.B.R. = \frac{\text{Esfuerzo en el Suelo Ensayado}}{\text{Esfuerzo en el Suelo Patrón}} * 100$$

Ecuación 5.7

Realizando simulaciones para elegir el ensayo adecuado, con el número teniendo en cuenta lo siguiente:

- Número de golpes (10, 25 y 55).
- Diversos niveles de presión.

Teniendo la siguiente tabla simulada:

Tabla 15: Simulación de pruebas CBR

N GOLPES	PENET mm	PRESIÓN Kgf./cm ²	DEN MAX (Kg/m ³)	Carga unitaria patrón		psi	CBR
				MPa	Kg/cm ²		
10	0,63	5	1920	-	-	-	-
	1,27	8		-	-	-	-
	2,54	10		6,90	70	1000	14.29%
	5,08	20		10,30	105	1500	19.05%
	7,62	29		13,10	133	1900	21.80%
	10,16	35		15,80	162	2300	21.60%
25	0,63	5	1920	-	-	-	-
	1,27	9		-	-	-	-
	2,54	20		6,90	70	1000	28.57%
	5,08	45		10,30	105	1500	42.86%
	7,62	70		13,10	133	1900	52.63%
	10,16	90		15,80	162	2300	55.56%
55	0,63	7	1920	-	-	-	-
	1,27	15		-	-	-	-
	2,54	40		6,90	70	1000	57.14%
	5,08	90		10,30	105	1500	85.71%
	7,62	140		13,10	133	1900	105.26%
	10,16	160		15,80	162	2300	98.77%

Fuente: Laboratorio AJANI

Elaboración: Propia

La tabla anterior nos da valores porcentuales del índice de CBR, pero nosotros necesitamos buscar un nivel de compactación que permita la infiltración del agua a la capa subrasante, necesitamos un índice de C.B.R. bajo, por lo que tomamos el índice porcentual correspondiente al número de golpes 10 (diez) con una presión de teórica de 10 Kg/cm², teniendo la misma una carga patrón de 70 Kg/cm², teniendo una penetración patrón de 2.54 mm. Se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 16: Índice de C.B.R. real para muestra-Ensayos.

N° GOLPES	PUNTO	PENET mm	PRESIÓN Kg./cm2	Carga unitaria patrón		psi	CBR
				Mpa	Kg/cm2		
10	P1	2,54	9.1	6,90	70	1000	13.00%
		2,54	9.5	6,90	70	1000	13.57%
		2,54	9.3	6,90	70	1000	13.29%
		2,54	10.2	6,90	70	1000	14.57%
		2,54	9.8	6,90	70	1000	14.00%
	P2	2,54	9.65	6,90	70	1000	13.79%
		2,54	11.20	6,90	70	1000	16.00%
		2,54	10.56	6,90	70	1000	15.09%
		2,54	9.50	6,90	70	1000	13.57%
		2,54	9.41	6,90	70	1000	13.44%
	P3	2,54	9.83	6,90	70	1000	14.04%
		2,54	9.12	6,90	70	1000	13.03%
		2,54	10.45	6,90	70	1000	14.93%
		2,54	8.95	6,90	70	1000	12.79%
		2,54	10.49	6,90	70	1000	14.99%
						PROM.	14.01%

Fuente: Laboratorio AJANI.

Elaboración: Propia

Tomando finalmente el valor promedio.

Adicionalmente se calculó la velocidad de percolación en el suelo, mediante tres ensayos de campo y tomando el promedio para cálculos finales.

5.3.7. Velocidad de percolación

La que se obtuvo de la siguiente fórmula:

$$Vel. Perc. = \frac{h}{t}$$

Ecuación 5.8

Donde

Vel.Perc = Velocidad de Percolación (mm/min)

h = Altura de prueba en suelo (mm).

t = tiempo de prueba (min.)

Tabla 17: Pruebas de Permeabilidad

Volumen 200 ml					
ID	Hora 0	Hora	t (min)	h (cm.)	vel. (mm/min)
P1	14:42	17:32	170	2	0.118
P2	14:51	17:25	154	4	0.260
P3	14:55	17:12	137	5	0.365
Promedio				3.7	0.247

Fuente: Propia.

Elaboración: Propia.

5.3.8. Periodo de Riego.

Finalmente, utilizamos la altura de promedio de prueba de las pruebas de permeabilidad, las dividimos entre la velocidad estándar (ecuación 5.9), la multiplicamos por un 10/60, para transformar las unidades de la altura en milímetros y el tiempo en horas (ver gráfico 03 "*Corte de Sección Transversal de vías mineras*"), resultado al que se le añade el porcentaje obtenido del índice de CBR, que es la fórmula final de esta investigación, la cual puede emplearse en periodos de planificación cortos (planificación semanal), de la misma manera se puede realizar el planeamiento por toda una temporada seca (mayo-agosto, temporada de estiaje y falta de lluvias).

$$F = \left(\frac{h \cdot 10}{vel_{est} \cdot 60} \right) * (1 + C.B.R)$$

Ecuación 5.9

Donde:

F = Frecuencia de riego

\bar{h} = altura promedio. (cm.)

Vel.Est = Velocidad estándar (mm/min).

Vel.Est = vel. Perc.+EPT.

Ecuación 5.10

Gráfico 05: Altura y velocidad de percolación en prueba.

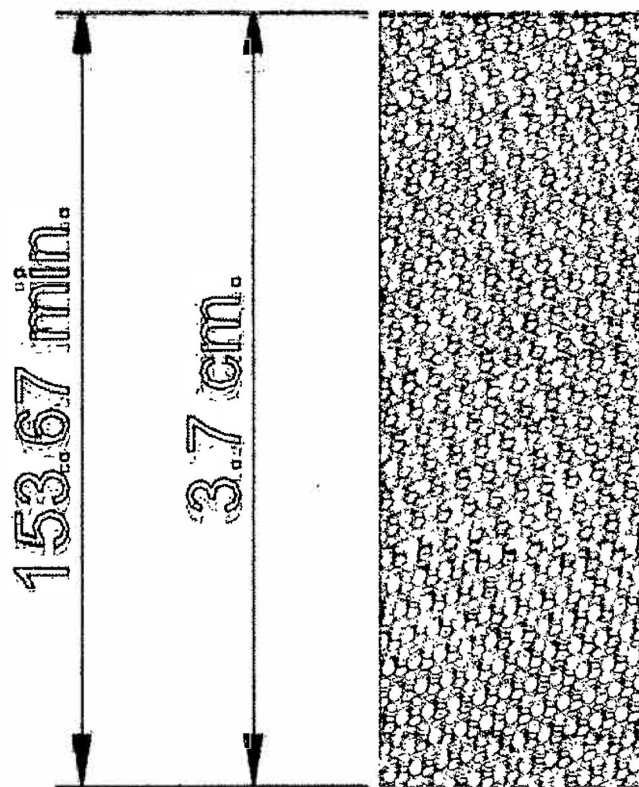


Tabla 18: Tabla de periodos mensuales

		Periodo (hr)
2010	Julio	2.823
	Agosto	2.821
	septiembre	2.821
	Octubre	2.823
	noviembre	2.820
	diciembre	2.825
2011	Enero	2.824
	Febrero	2.827
	Marzo	2.826
	Abril	2.824
	Mayo	2.824
	Junio	2.826
		2.824

Fuente: Propia, Elaboración: Propia.

Mostrando el siguiente cuadro de resumen general:

Tabla 199 Resumen de Cálculos para obtención de la frecuencia de riesgo (ver gráficos siguientes por cada columna)

		(a) Temp	(b) II	(c) EPT sin corr	(d) N	(e) Días	(f) EPT (mm/min)	(g) Vel. Perc.	(h) vel/ estándar	(i) CBR	(j) frecuencia (hr)
2010	julio	448966	00969	43365	10	31	0.00200	0.2477	0.2490	0.140	2.823
	agosto	555588	111744	47535	10	28	0.00222	0.2477	0.2492	0.140	2.821
	septiembre	556522	112044	48830	9	31	0.00222	0.2477	0.2492	0.140	2.821
	octubre	551000	110380	44847	9	30	0.00211	0.2477	0.2491	0.140	2.823
	noviembre	60993	113499	56683	8	31	0.00233	0.2477	0.2493	0.140	2.820
	diciembre	44466	008433	40938	8	30	0.00199	0.2477	0.2489	0.140	2.825
2011	enero	44687	00907	42314	7	31	0.00200	0.2477	0.2490	0.140	2.824
	febrero	336744	00627	35594	7	31	0.00177	0.2477	0.2487	0.140	2.827
	marzo	441441	007522	38862	8	30	0.00188	0.2477	0.2488	0.140	2.826
	abril	4447	008955	42000	9	31	0.00199	0.2477	0.2489	0.140	2.824
	Mayo	446255	008899	44991	9	30	0.00199	0.2477	0.2489	0.140	2.824
	junio	441888	007511	38846	10	31	0.00188	0.2477	0.2488	0.140	2.826
I _R = 11665											2.824

Fuente: Propia

Elaboración: Propia



5.4.

Gráficos



Gráfico 06: Evolución Mensual de la Temperatura media mensual

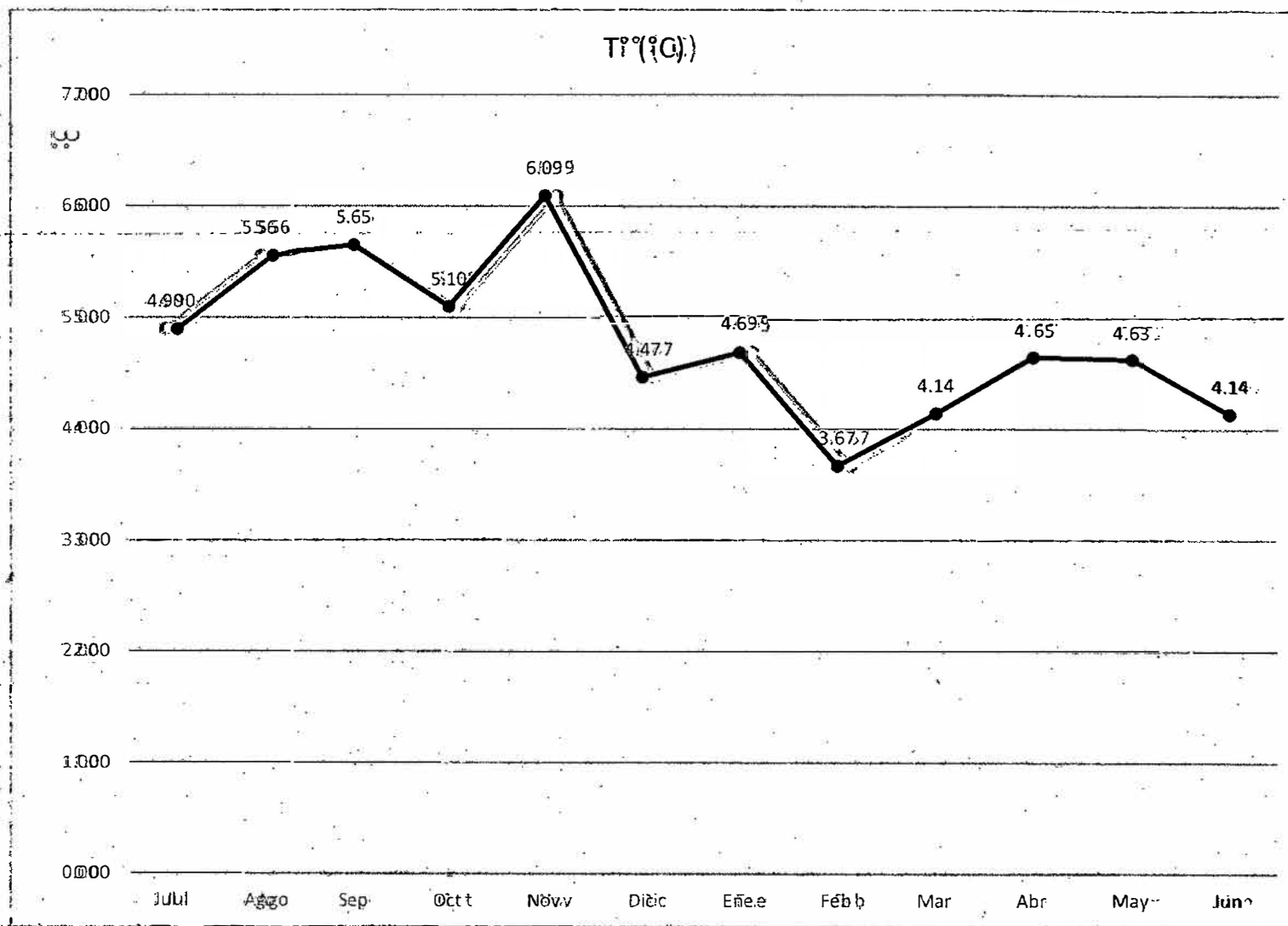


Gráfico 07: Evolución mensual del Índice de Calor Mensual

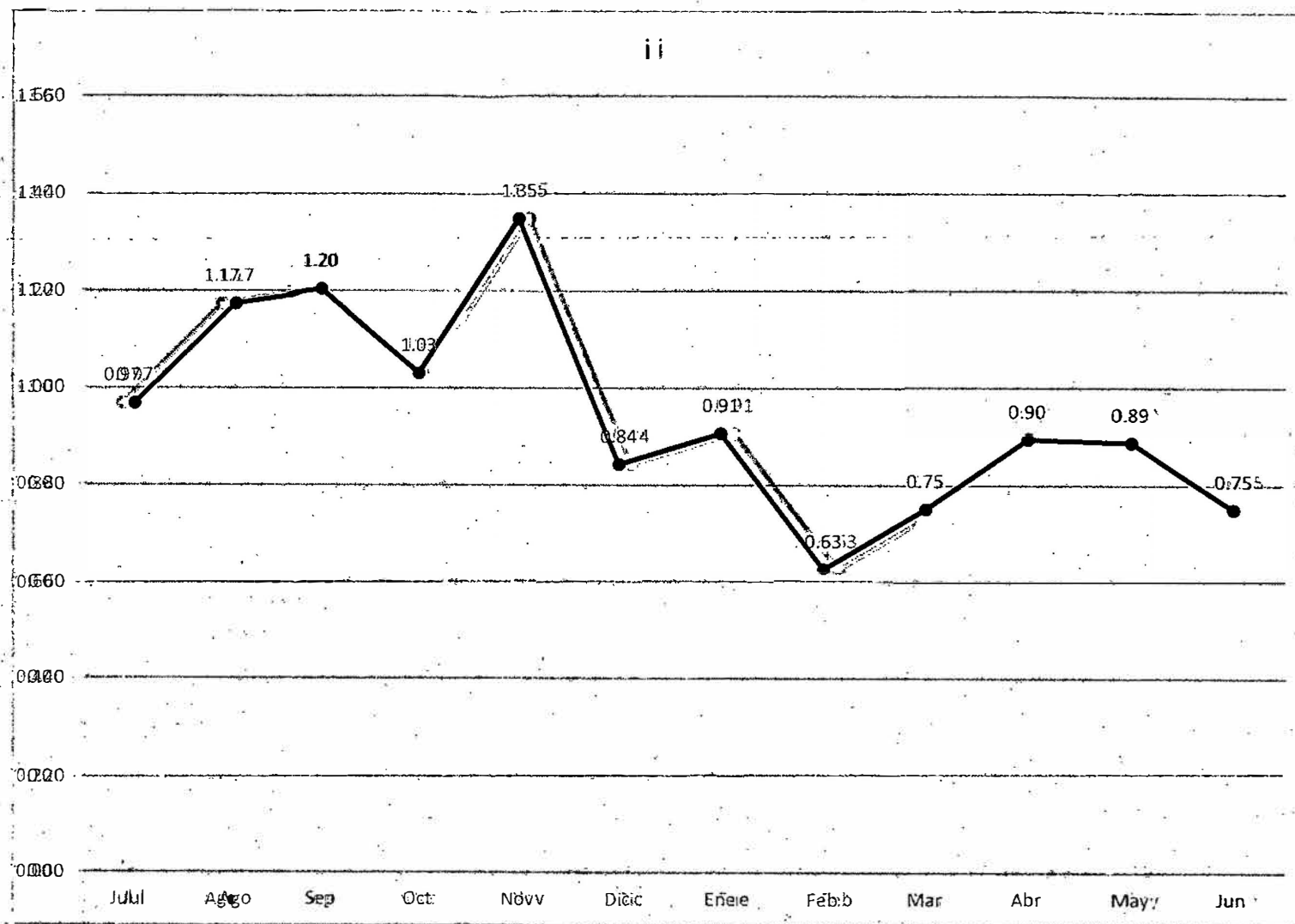


Gráfico 08: Evolución mensual de la evapotranspiración Mensual

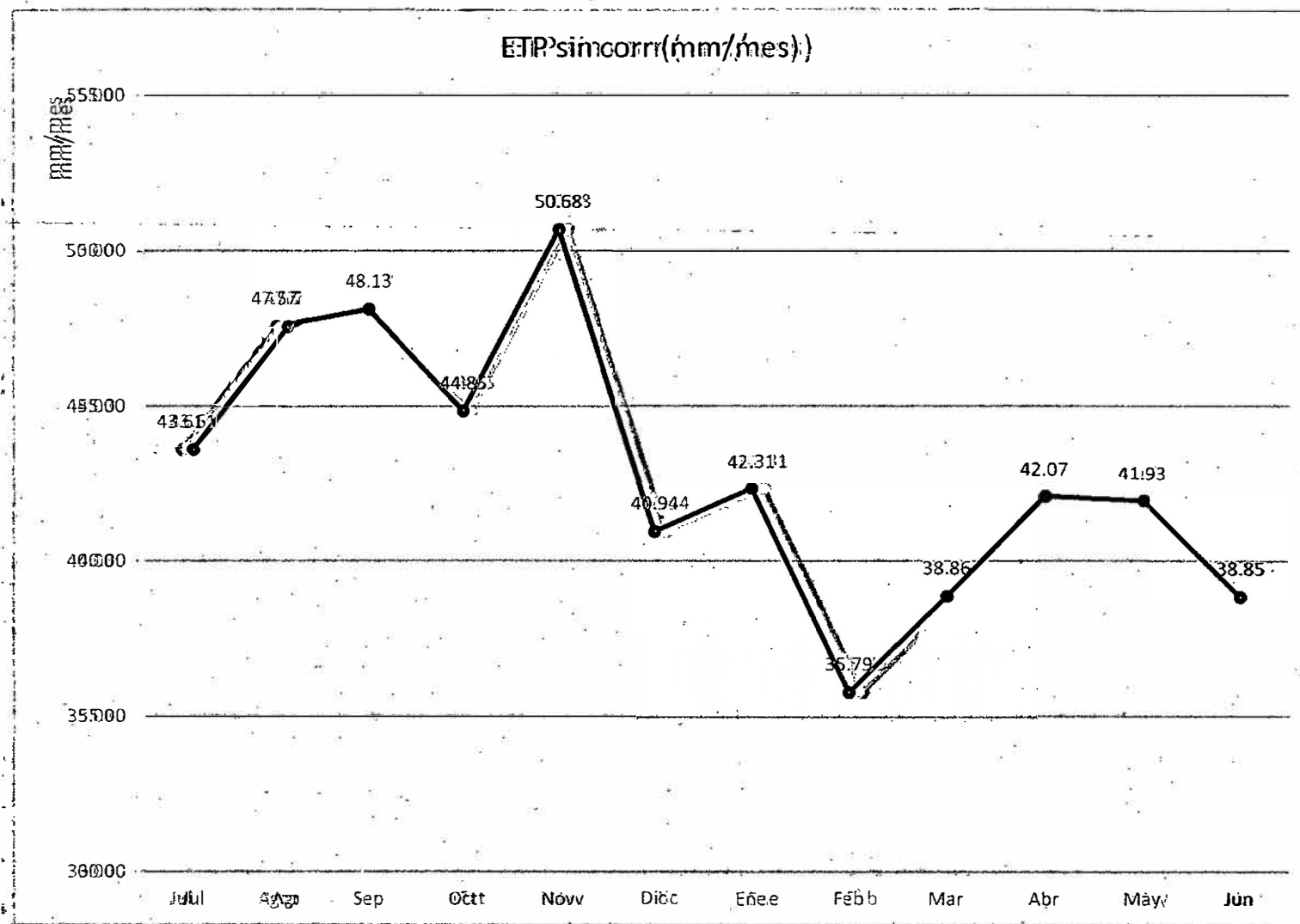


Gráfico 09: Evolución Mensual de la Evapotranspiración Corregida

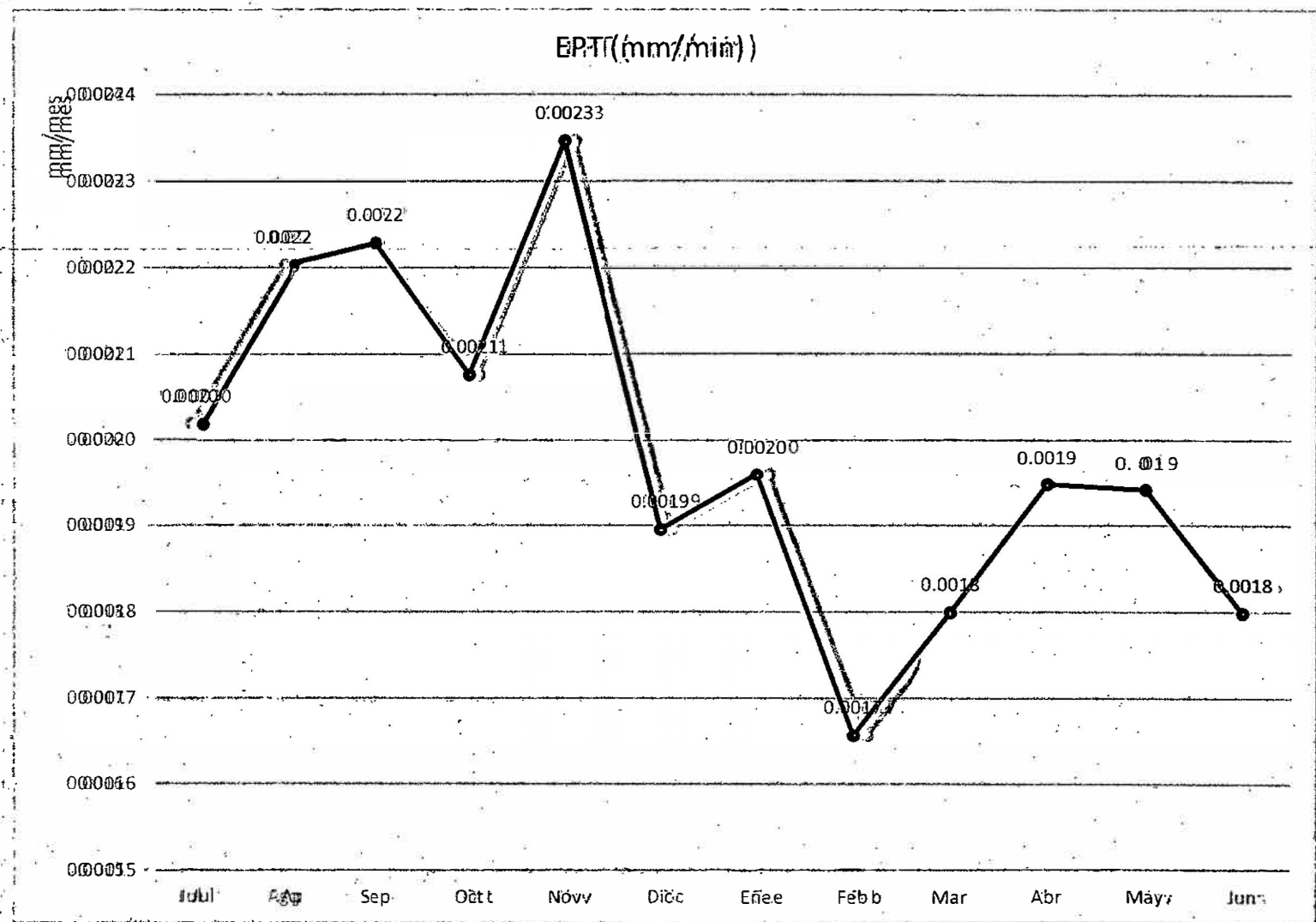


Gráfico 10: Evolución Mensual de la Velocidad de Percolación

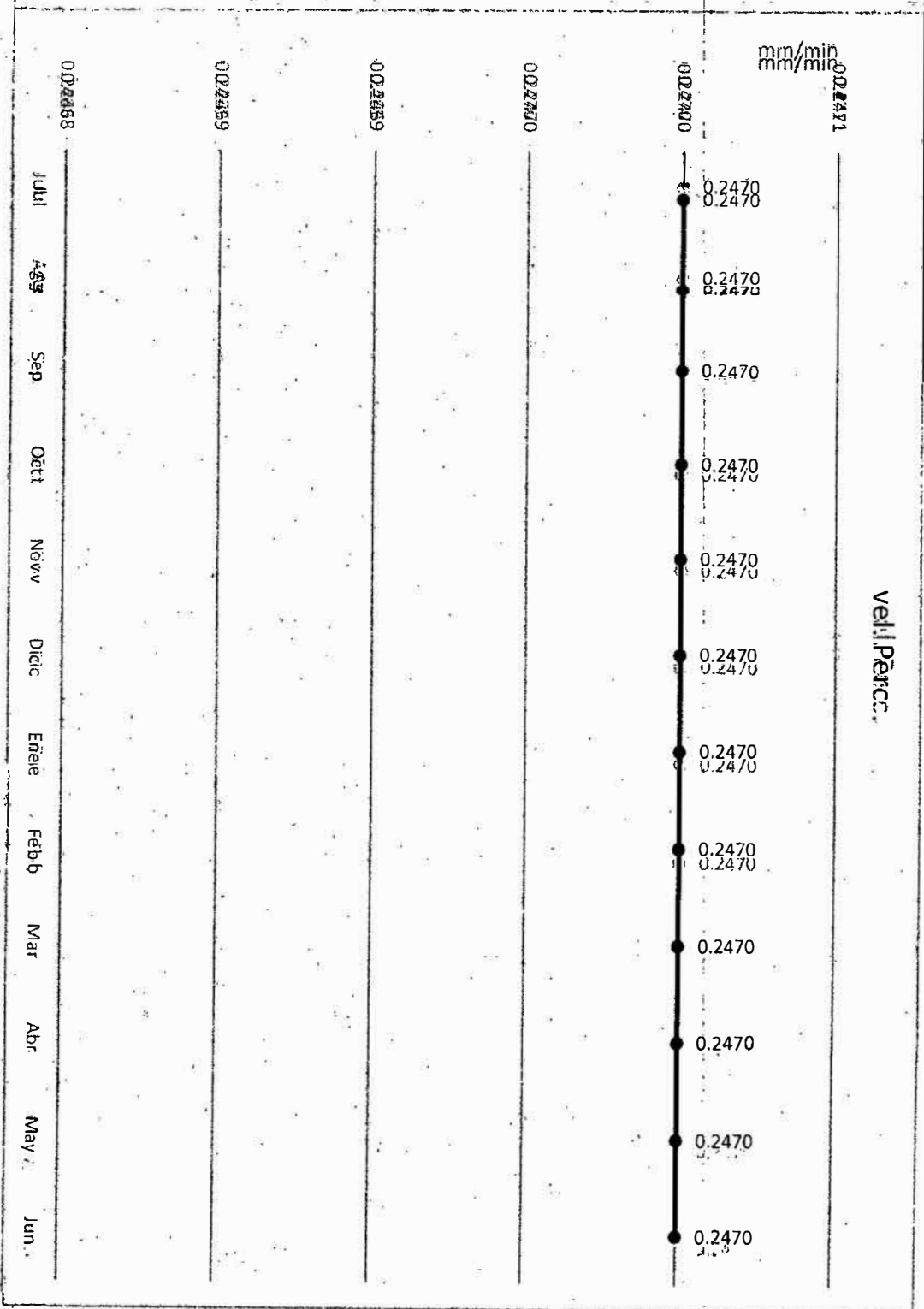


Gráfico II: Evolución Mensual de la velocidad estándar

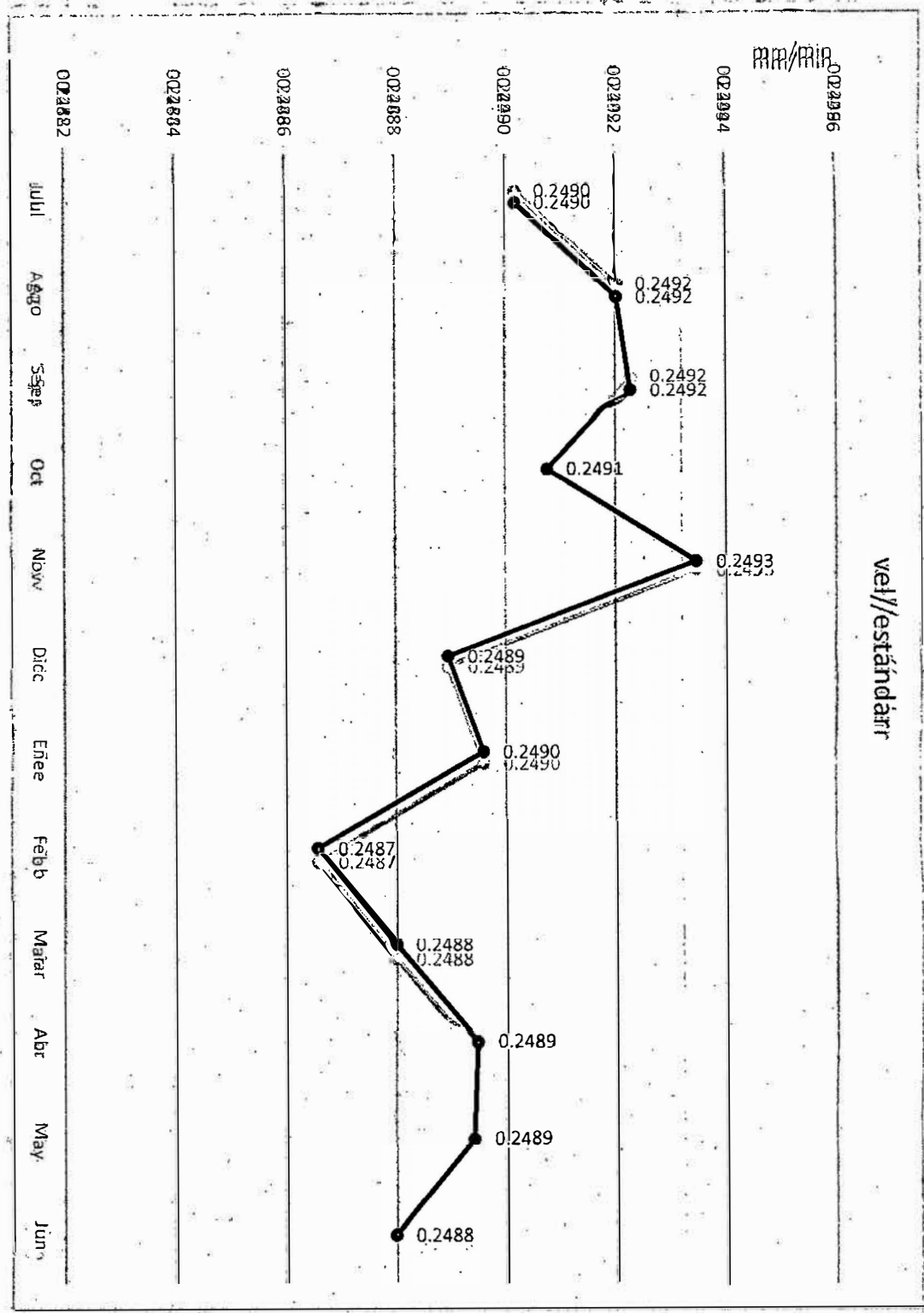
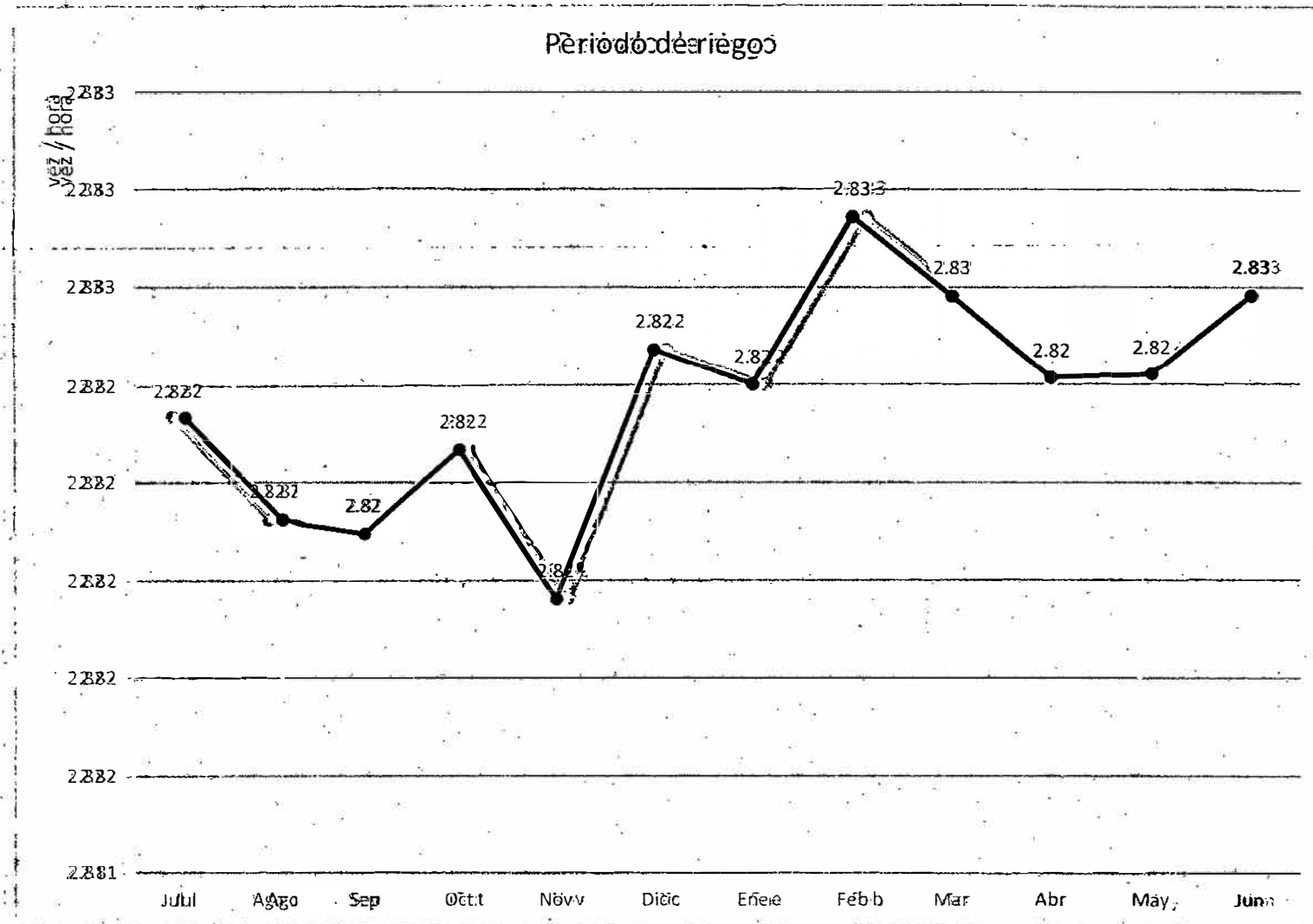


Gráfico 12: Evolución Mensual de la Frecuencia de riego



5.5. Secuencia para describir cuadro resumen.

Columna (a).- Temperatura, dichos datos se calculan en el punto 5.3.1 del presente capítulo, con la fórmula 5.1, y sus datos vienen resumidos en la tabla 10, estando sus unidades en °C.

Columna (b).- Índice de calor Mensual, dichos datos se calculan en el punto 5.3.2 del presente capítulo, con la fórmula 5.2, y sus datos vienen resumidos en la tabla 11,

Columna (c).- Evapotranspiración sin corregir, la que se calculó en el punto 5.3.4. y la ecuación 5.4, y se resume en la tabla 12

Columna (d).- Es el número de horas luz, las que se pueden indicar por la temporada.

Columna (e).- Es el número de días por mes con los que se realiza el cálculo de la temperatura media mensual y la evapotranspiración Corregida.

Columna (f).- En esta columna se calcula la evapotranspiración corregida, la que se calculó en el punto 5.3.5, con la fórmula 5.5 y tiene su resumen mensual en la tabla 13.

Columna (g).- En este punto se calcula la velocidad de percolación, calculada en el punto 5.3.7, con la fórmula 5.8 y presenta su resumen en la tabla 16.

Columna (h).- es la velocidad estándar, la que sale de sumar la velocidad de percolación con la evapotranspiración corregida.

Columna (i).- En esta columna se resume el cálculo de Índice de C.B.R. a añadir, calculado en el punto 5.3.6, mediante la fórmula 5.7, saliendo los porcentajes en la tabla 15.

Columna (j).-En este punto se resume la frecuencia de riego calculado en el punto 5.3.8, mediante la fórmula 5.9, teniendo los resultados resumidos en la tabla 18.

5.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

5.6.1. Etapas de la experimentación

- A. **Colecta de datos.-** El cual se realizó recopilando los siguientes datos: precipitación, temperatura ambiental, entre otros, los cuales se medirán mediante la estación meteorológica Vantage PRO 2, colectado con el software the weather linck, además de las distancias totales de vías.
- B. **Pruebas de permeabilidad.-** Se realizó las pruebas de permeabilidad del suelo en vías alternas en el proyecto.
- C. Se realizaron pruebas de penetración del suelo para verificar y corroborar el porcentaje de penetración para encontrar el índice de C.B.R. para el presente estudio.
- D. **Prueba en campo.-** Se realizó el programa de riego y evaluación del tiempo de riego eficiente durante todo un día en primera instancia, cumpliendo luego con un monitoreo de una semana.

5.6.2. Procesamiento y análisis de datos

Los datos a recopilar serán básicamente los siguientes:

- Permeabilidad del suelo (velocidad de percolación).
- Temperatura media anual.
- Longitud de vías.
- Índice de C.B.R.
- Tiempo de estabilización con riego convencional.

El análisis consistirá en interrelacionar los datos obtenidos en una serie de pruebas aplicadas al campo para validar el modelo matemático, ya con este modelo se realizará el análisis comparativo de uno y otro método de riego.

5.6.3. Selección de las pruebas

Las pruebas realizadas son las siguientes:

- **Determinación de la evapotranspiración.**
- **Velocidad de percolación.**
- **Monitoreo de la temperatura media mensual.**
- **Pruebas de Penetración del suelo.**
- **Evaluación de resultados en campo.**
- **Medición del tiempo de estabilidad de las pistas con el riego convencional.**

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS.

Los resultados los tenemos que discutir analizando tres aspectos;

El problema principal era determinar un modelo matemático que determine un tiempo efectivo de riego en las vías mineras de la Unidad Minera ANABI S.A.C., el cual en base a la experimentación de gabinete y de campo se pudo obtener dicho modelo, solucionando así el problema principal del presente estudio, pero que no se limita a ser utilizada en esta unidad, ya que el modelo es genérico para cualquier otra unidad, una manera de demostrar la utilidad del presente modelo matemático es que se empleó en la observación 76 del EIA , donde observan lo siguiente: “Se requiere indicar cuáles serán las fuentes y el volumen de agua que serán requeridos para uso industrial y doméstico durante el desarrollo del proyecto; estimar el volumen de agua y frecuencia de riego de accesos y frentes de trabajo”, a lo que respondió específicamente para el riego de vías lo siguiente: “...Los recursos hídricos para el riego de supresión de polvo de los accesos internos y externos de la futura mina de aproximadamente 16 km., la demanda hídrica asciende a un caudal de 1.5 l/s, siendo el módulo de riego de 1000 galon/km, y con una frecuencia de riego de dos veces al día (mañana y tarde).

En el Anexo Obs. 76 se adjunta el sustento del cálculo de riego...”.

La misma que se explica en el punto 5.3.8, con la fórmula 5.9

Reemplazando todos los valores nos dará una frecuencia de riego de 2.793 horas, expresado en mayor detalle serían 2 horas con 47.58 minutos el tiempo óptimo de riego en vías de la Unidad Minera ANABI.

Primero.- Para realizar estos cálculos se debe tener presente que mientras haya presencia de lluvias el presente trabajo estaría de más, ya que el problema de polución no representaría el planteamiento a resolver, por el contrario tendríamos que analizar el tema de sedimentos en los cuerpos de agua; por otro lado las temperaturas a estas altitudes tienen variantes vertiginosas, cambios bruscos con respecto a horas de la mañana y de la tarde, por consiguiente en función a este parámetro y sus cambios debemos de tener mucho cuidado para al momento de considerar las horas luz de exposición se debe de tomar un número adecuado para que la experimentación no presente desviaciones considerables para la tendencia del cálculo.

Además cabe señalar que en función de la temperatura, la evapotranspiración, el cálculo se puede ajustar para todo un año, de manera mensual o inclusive en lapsos más cortos como para una programación semanal, solo basta con tomar la temperatura proyectada según los datos históricos en el lapso correspondiente para el cálculo deseado.

El parámetro de permeabilidad del suelo es un factor importante e inclusive ligado al tercer parámetro, pero que en este caso, nos limitaremos a la característica de tipo de suelo, ya que en la zona de estudio se encontró un suelo limoarenoso, que tiene cierto nivel de permeabilidad, la que contribuye a que el contenido de humedad en la carpeta de rodamiento se prolongue por un tiempo adicional que en suelos normales, pero en un nivel inferior que los suelos limoarcillosos.

Segundo.- El nivel de compactación medido con el Índice C.B.R, es también fundamental para el cálculo del tiempo en la frecuencia de riego, puesto que a mayor índice de C.B.R. mayor es el tiempo que debe considerarse para el riego, ya que al tener un nivel de compactación mayor, mayor es la capacidad de retención de líquidos de la

carpeta de rodamiento, a mayor índice, por consiguiente mayor el intervalo de frecuencia de riego.

Además podemos poner en discusión si se debería insertar más parámetros al presente modelo, a lo que como resultado de todos los análisis posibles es que si es factible insertar algunos parámetros, pero que a la fecha resultan muy intrincados para poder engarzar parámetros como son la flota y la frecuencia de tránsito en cada proyecto, así como las inclinaciones de las rampas y/o vías, la humedad atmosférica (relativa y absoluta), velocidad y dirección del viento , entre otros, los cuales pueden ser insertados en trabajos futuros, pero que con los parámetros insertados (Temperatura, evapotranspiración que está en función de la temperatura, permeabilidad y C.B.R.) funcionan y se ajustan a la realidad, dando un nivel de aproximación a la realidad con un margen de error del 4.30 % inicial, dentro de lo establecido, puesto que un tiempo efectivo de riego considerando solo los parámetros de Temperatura y tipo de suelo se tiene un tiempo de 2.57 horas, ajustando este resultado adicionándole el índice C.B.R. el tiempo se eleva a un 2.793, que es el resultado del presente estudio, significando esto un incremento en el porcentaje antes mencionado.



6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para finalizar podemos decir que el presente trabajo, con sus complicaciones de información escasa y específica sobre tiempo efectivo de riego en vías no pavimentadas ni asfaltadas, encontrando solo tópicos como supresores de polvos, aditivos para el riego, mas no un modelamiento básico para poder programar el riego, ya sea por cuestiones ambientales y/o operativas, abre las puertas para poder ampliar estudios y realizar diversos modelamientos o programas de acuerdo a los objetivos puntuales que se puedan trazar; muchas de las limitaciones o ausencia de información pueden variar para un futuro estudio, los parámetros que se recomendaría implementar en futuros estudios son los siguientes:

- Número específicos de camiones cisterna para el servicio de riego en vías.
- Cálculo de consumo en volumen de agua para el riego.
- Costos para el riego en vías.
- Programación en el plan anual y el presupuesto general de este servicio.
- Programación Mensual y/o semanal en temporada seca para minimizar el impacto por generación de polvo.

Al finalizar el presente trabajo podemos calcular y diseñar un plan integral de riego para cualquier programa de riego ANABI, (ver tabla N° 18) en cualquier lugar, mediante los cálculos de permeabilidad, evapotranspiración y C.B.R., los cuales definirán una frecuencia de riego, el que servirá para determinar:

A. Volumen de consumo de agua.

Se podrá estimar un volumen total de agua para la mina ANABI, que resultó de los cálculos integrales de longitud de vías, ancho de vía y espesor de película de riego, los que se pueden observar en tabla N° 17

B. Número de Camiones cisterna.

En este ítem después de los cálculos se puede calcular en número de camiones cisterna.

C. Tiempo de riego total para las vías.

Para este literal, se podrá calcular como punto adicional el tiempo total de riego, o lo que se puede explicar mejor, el tiempo que toma regar todas las vías para mantenerlas húmedas, evitando así la generación de polvo.

D. Frecuencia de riego por vía.

Por todos los parámetros analizados, el tiempo o para este caso la frecuencia de riego puede o aumentar o disminuir, cuando se analizó inicialmente en base a los parámetros de permeabilidad y temperatura (evapotranspiración), la frecuencia de riego resultó en 2.57 horas o lo que es lo mismo 2 hora con 34 minutos, mientras que cuando se añadió el índice de C.B.R. aumentó el tiempo a 2.793 horas, o lo que es equivalente a 2 horas con 47.5 minutos, lo que disminuyó la frecuencia de riego en una diferencia de veinte (20) minutos, añadiendo más parámetros la frecuencia final podría aumentar o disminuir el periodo de riego.

E. Consumo real del servicio de riego de vías.

Al finalizar el presente trabajo, se podrá estimar el volumen de agua a utilizar para la operación de riego (ver tabla 18), ya sea agua fresca o residual.

Por todas estas razones es que el trabajo de investigación expuesto, es de relevancia para las operaciones mineras tanto porque al mantener la humedad adecuada en vías se utilizará menos recursos para mantener las vías y/o rampas, ya que conservarán y prolongarán su integridad por un poco más de tiempo, así como reducir la generación

de polvo en las vías producto del tránsito de la flota de mina así como la intensidad del viento predominante en la zona con la consiguiente reducción de enfermedades ocupacionales, disminución de la alteración de los ecosistemas aledaños al área del proyecto y podríamos afirmar que también disminuiría la incidencia de fallas mecánicas de los equipos por desgaste de componentes móviles, entre otros.

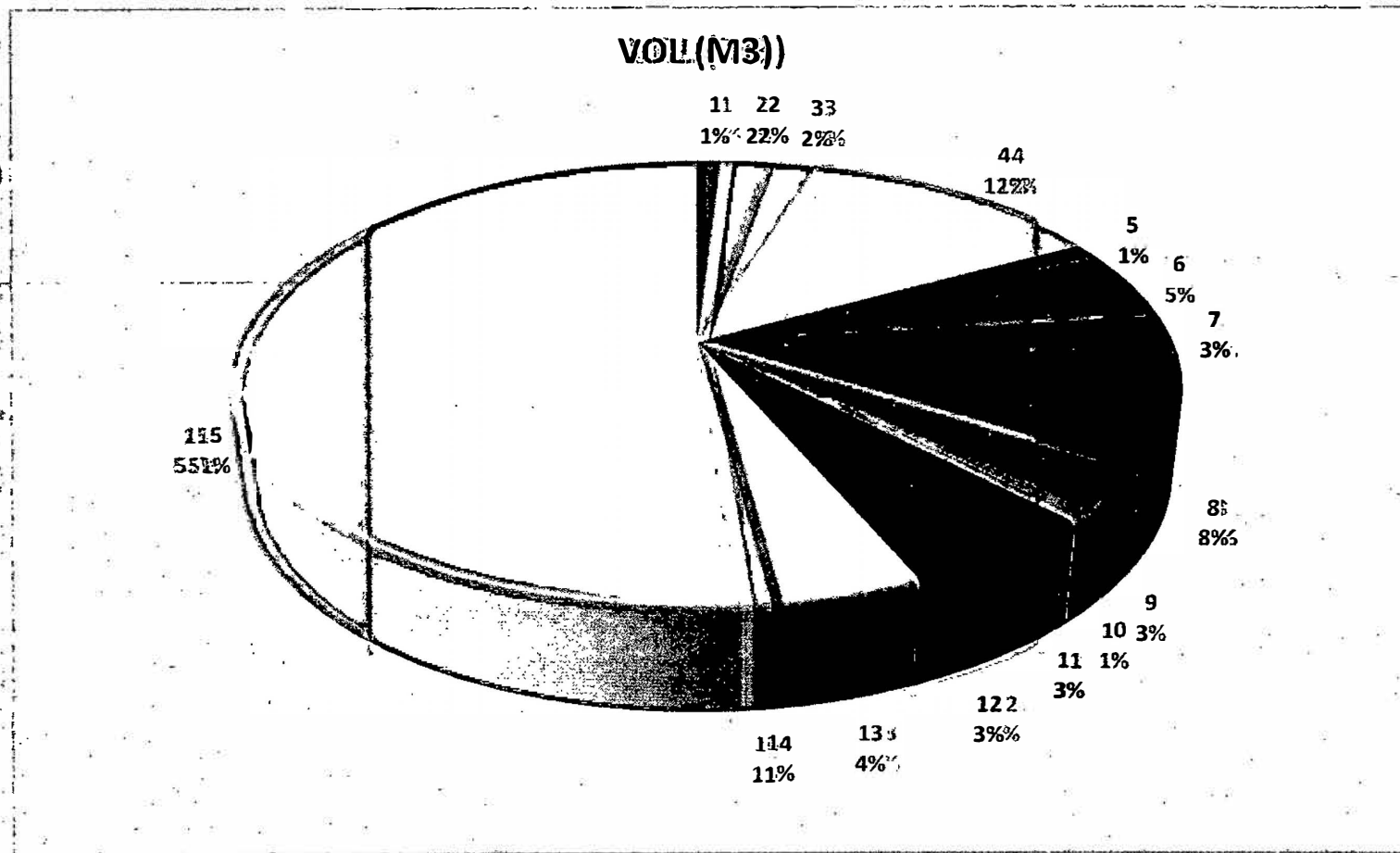


Tabla N° 20: Resumen de distancias, rutas y volúmenes de consumo de agua

N°	DE	A	Dist. (m)	ancho vía (m)	Esp. agua (m)	vol (m³)	vol agua (glns)	vol residual cisterna(glñ)	N° de viajes	T (min)	T. Neto (min)
1	Garita	t. mantto	300.00	5.77	0.001	1.73	457.33	4542.67	1	4.29	19.29
2	t.mantto	c.medico	280	10.8	0.001	3.02	798.94	3743.73			
3	c.médico	Ov. Botadero	420.00	9	0.001	3.78	998.68	2745.05			
4	Ov. botadero	tajo gravas	2484.735	8.6	0.001	21.37	5645.63	2099.41	1	11.40	26.40
5	gravas p2	c. esperanza	175.21	10	0.001	1.75	462.90	1636.51			
6	gravas p2	c.claudia	902.293	10	0.001	9.02	2383.87	4252.65	1	5.84	20.84
7	cant. Claudia	Huisamarca	460.00	10	0.001	4.600	1215.32	3037.32			
8	huisamarca	Grifo	1,510	10	0.001	15.104	3990.42	4046.91			
9	gravas p3	Pto. descarga	547.47	8.6	0.001	4.708	1243.92	2802.99	1	12.71	27.71
10	gravas p4	Botadero	208.29	8.6	0.001	1.791	473.26	2329.73			
11	Ov. botadero	Pad	700.00	7	0.001	4.900	1294.58	1035.14			
12	Pad	almacen cal	723	7	0.001	5.061	1337.12	4698.02	1	10.19	25.19
13	almacen cal	Campamento	1383.51	5.5	0.001	7.609	2010.39	2687.64			
14	garita plomo	Laboratorio	272.178	5.5	0.001	1.497	395.50	2292.13			
15	garita	Quiñota	20000.00	4.5	0.001	90.000	23778.07	3514.06	5	85.71	160.71
						175.95	46485.94		10	130.14	280.14
										2.39	4.67
									tiempo en horas		9.3382



Gráfico N° 13 Distribución del gasto de agua por tramos.



El presente gráfico indica el porcentaje de agua que se consume en el proceso de riego, las rutas en este gráfico, se relaciona con la Tabla N° 200.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Libros

1. Alarcón I, Alva J.(1999) Ensayos de Permeabilidad en Materiales de Baja Permeabilidad Compactados.
2. JUAREZ B., Eulalio R.(1998) "Mecánica de suelos tomo 1" Editorial Limusa, México, Capítulo I, Suelos: origen y formación, Minerales constitutivos, pag.34.
- 3.- Knight Piesold, (2005) Estudio de impacto ambiental Mansa mina, División ministeriales. (American Section of the International Association for Testing Materials)
4. Sartori, E. (1987) "A mathematical model for predicting heat and mass transfer from a free water surface". Proc. ISES Solar World Congress, Germany.
5. Vicente .C. (2010) Guia metodológica para la evaluación de impacto ambiental, 4ª Edición, Madrid-España, Mundi-Prensa Editorial.

Información WEB

1. Buzo I. (2012). Calculo de datos climáticos. 2012, de Recursos de Ciencias Sociales, Geográficas e Históricas Sitio web:
http://contenidos.educarex.es/sama/2010/csociales_geografia_historia/primeroceso/tema3/calculo_climas.html
<http://www.slideshare.net/georgesar7/diseo-de-vias-y-rampas-en-mineria>
2. Departamento de Petroligía y Geoquímica. (2007). Atlas de Petrología Sedimentari. 2012, de Universidad Complutense de Madrid Sitio web:
http://pendientedemigracion.ucm.es/info/petrosed/rc/dia/ejemplos_co.html
<http://www.>



miliarium.com/Proyectos/EstudiosHidrogeologicos/Memoria/Evapotranspiracion/evapotranspiracion.asp

3. Facultad de ingeniería Agrícola. (Abril 2004). Evapotranspiración. 2012, de Universidad Nacional Agraria La Molina Sitio web:
http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarri/clase_vii_evapotranspiracion_def.pdf
<http://es.wikipedia.org/wiki/Humedad>
4. Talsa Tecnología Automotriz Limpa S.A. (2003). El Material Particulado – Que es eso? 2012, de HJS Sitio web: <http://www.talsa.cl/mp.pdf>
<http://es.wikipedia.org/wiki/Polvo>

Artículos

1. Knight Piesold, Estudio de impacto ambiental Mansa mina, División ministro hales, Codelco Chile.
2. Norma Chilena Oficial, (NCh 1852.Of81), Mecánica de Suelos – Determinación de razón de soporte de suelos compactos en laboratorio.
3. Silvia Angelone, Teresa Garibay, Geología y Geotecnia – Permeabilidad de suelos, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.
4. Tadeusz Golosinski, (2013) Diseño de pistas de Transporte en Minería. Intercade Consultancy & Training.



ANEXOS



2010											
JULIO	T° DIARIA	AGOSTO	T° DIARIA	SEPTIEMBRE	T° DIARIA	OCTUBRE	T° DIARIA	NOVIEMBRE	T° DIARIA	DICIEMBRE	T° DIARIA
03/07/2010	4.85	01/08/2010	4.1	01/09/2010	1.2	01/10/2010	5.8	01/11/2010	6.9	01/12/2010	6.3
04/07/2010	5.64	02/08/2010	4.1	02/09/2010	2.4	02/10/2010	5.1	02/11/2010	6.5	02/12/2010	6.6
05/07/2010	6.20	03/08/2010	5.4	03/09/2010	5.1	03/10/2010	5.2	03/11/2010	6.6	03/12/2010	7.0
06/07/2010	5.33	04/08/2010	5.8	04/09/2010	5.9	04/10/2010	6.3	04/11/2010	6.8	04/12/2010	5.8
07/07/2010	5.73	05/08/2010	5.8	05/09/2010	5.2	05/10/2010	6.5	05/11/2010	8.1	05/12/2010	2.7
08/07/2010	4.93	06/08/2010	5.7	06/09/2010	4.7	06/10/2010	6.9	06/11/2010	6.7	06/12/2010	4.1
09/07/2010	4.92	07/08/2010	6.4	07/09/2010	4.5	07/10/2010	6.6	07/11/2010	6.6	07/12/2010	3.7
10/07/2010	5.30	08/08/2010	7.3	08/09/2010	4.7	08/10/2010	5.8	08/11/2010	7.1	08/12/2010	4.6
11/07/2010	4.18	09/08/2010	4.9	09/09/2010	5.9	09/10/2010	4.7	09/11/2010	5.8	09/12/2010	4.3
12/07/2010	5.68	10/08/2010	4.6	10/09/2010	5.9	10/10/2010	3.1	10/11/2010	6.1	10/12/2010	3.9
13/07/2010	5.33	11/08/2010	5.2	11/09/2010	6.1	11/10/2010	2.4	11/11/2010	3.3	11/12/2010	3.7
14/07/2010	4.42	12/08/2010	5.3	12/09/2010	4.7	12/10/2010	1.4	12/11/2010	3.1	12/12/2010	3.4
15/07/2010	3.67	13/08/2010	4.3	13/09/2010	4.5	13/10/2010	3.1	13/11/2010	5.9	13/12/2010	4.4
16/07/2010	2.62	14/08/2010	5.9	14/09/2010	6.7	14/10/2010	4.2	14/11/2010	6.5	14/12/2010	5.5
17/07/2010	1.53	15/08/2010	5.9	15/09/2010	6.8	15/10/2010	4.4	15/11/2010	6.0	15/12/2010	5.6
18/07/2010	3.39	16/08/2010	6.4	16/09/2010	7.9	16/10/2010	3.5	16/11/2010	7.1	16/12/2010	5.4
19/07/2010	4.06	17/08/2010	6.1	17/09/2010	7.3	17/10/2010	3.1	17/11/2010	6.7	17/12/2010	6.4
20/07/2010	4.55	18/08/2010	6.5	18/09/2010	5.2	18/10/2010	5.0	18/11/2010	7.0	18/12/2010	5.4
21/07/2010	4.93	19/08/2010	5.9	19/09/2010	4.6	19/10/2010	5.2	19/11/2010	6.9	19/12/2010	5.1
22/07/2010	6.34	20/08/2010	4.1	20/09/2010	5.6	20/10/2010	4.2	20/11/2010	6.5	20/12/2010	3.8
23/07/2010	6.52	21/08/2010	3.5	21/09/2010	5.3	21/10/2010	3.1	21/11/2010	7.0	21/12/2010	3.5
24/07/2010	6.20	22/08/2010	5.6	22/09/2010	5.7	22/10/2010	4.7	22/11/2010	5.1	22/12/2010	4.1
25/07/2010	6.82	23/08/2010	6.8	23/09/2010	6.4	23/10/2010	6.4	23/11/2010	6.7	23/12/2010	3.4
26/07/2010	4.70	24/08/2010	7.4	24/09/2010	5.3	24/10/2010	7.4	24/11/2010	6.6	24/12/2010	3.4
27/07/2010	5.29	25/08/2010	7.0	25/09/2010	5.3	25/10/2010	7.6	25/11/2010	5.9	25/12/2010	2.6
28/07/2010	5.36	26/08/2010	6.6	26/09/2010	6.7	26/10/2010	4.8	26/11/2010	4.3	26/12/2010	3.5
29/07/2010	4.86	27/08/2010	7.4	27/09/2010	8.0	27/10/2010	4.9	27/11/2010	5.0	27/12/2010	3.7
30/07/2010	4.69	28/08/2010	5.0	28/09/2010	8.3	28/10/2010	6.6	28/11/2010	4.6	28/12/2010	2.8
31/07/2010	3.98	29/08/2010	5.1	29/09/2010	7.6	29/10/2010	7.0	29/11/2010	5.3	29/12/2010	3.1
		30/08/2010	4.6	30/09/2010	6.2	30/10/2010	7.4	30/11/2010	6.1	30/12/2010	4.5
		31/08/2010	3.5			31/10/2010	6.0			31/12/2010	6.2



2011											
ENERO	T° DIARIA	FEBRERO	T° DIARIA	MARZO	T° DIARIA	ABRIL	T° DIARIA	MAYO	T° DIARIA		T° DIARIA
01/01/2011	6.1	01/02/2011	2.8	01/03/2011	4.9	01/04/2011	4.0	01/05/2011	4.0	01/06/2011	6.2
02/01/2011	5.3	02/02/2011	3.7	02/03/2011	5.3	02/04/2011	4.7	02/05/2011	3.8	02/06/2011	5.9
03/01/2011	5.2	03/02/2011	5.0	03/03/2011	4.2	03/04/2011	4.1	03/05/2011	4.5	03/06/2011	5.6
04/01/2011	5.8	04/02/2011	4.7	04/03/2011	2.9	04/04/2011	4.2	04/05/2011	4.5	04/06/2011	4.5
05/01/2011	6.2	05/02/2011	3.8	05/03/2011	2.8	05/04/2011	5.4	05/05/2011	4.1	05/06/2011	4.0
06/01/2011	5.0	06/02/2011	3.8	06/03/2011	3.8	06/04/2011	3.0	06/05/2011	4.1	06/06/2011	3.0
07/01/2011	4.0	07/02/2011	4.4	07/03/2011	4.1	07/04/2011	3.5	07/05/2011	3.9	07/06/2011	4.2
08/01/2011	4.3	08/02/2011	3.1	08/03/2011	3.5	08/04/2011	3.6	08/05/2011	4.3	08/06/2011	4.9
09/01/2011	4.0	09/02/2011	4.3	09/03/2011	4.0	09/04/2011	3.1	09/05/2011	5.3	09/06/2011	4.7
10/01/2011	4.1	10/02/2011	3.9	10/03/2011	4.2	10/04/2011	4.5	10/05/2011	2.3	10/06/2011	4.6
11/01/2011	3.8	11/02/2011	3.6	11/03/2011	3.2	11/04/2011	5.3	11/05/2011	3.8	11/06/2011	4.8
12/01/2011	4.7	12/02/2011	5.3	12/03/2011	3.8	12/04/2011	5.2	12/05/2011	4.1	12/06/2011	5.3
13/01/2011	4.0	13/02/2011	4.7	13/03/2011	3.5	13/04/2011	5.9	13/05/2011	4.4	13/06/2011	4.4
14/01/2011	4.5	14/02/2011	3.0	14/03/2011	3.0	14/04/2011	5.1	14/05/2011	4.6	14/06/2011	3.0
15/01/2011	5.2	15/02/2011	2.8	15/03/2011	3.4	15/04/2011	4.6	15/05/2011	4.0	15/06/2011	3.1
16/01/2011	6.6	16/02/2011	4.7	16/03/2011	4.9	16/04/2011	4.2	16/05/2011	4.6	16/06/2011	2.5
17/01/2011	7.6	17/02/2011	4.8	17/03/2011	4.8	17/04/2011	3.0	17/05/2011	4.5	17/06/2011	2.3
18/01/2011	6.8	18/02/2011	3.1	18/03/2011	5.6	18/04/2011	3.5	18/05/2011	4.3	18/06/2011	3.2
19/01/2011	5.8	19/02/2011	2.7	19/03/2011	4.2	19/04/2011	4.6	19/05/2011	5.0	19/06/2011	3.1
20/01/2011	7.0	20/02/2011	2.6	20/03/2011	4.2	20/04/2011	6.0	20/05/2011	5.0	20/06/2011	3.8
21/01/2011	4.2	21/02/2011	3.2	21/03/2011	5.2	21/04/2011	6.0	21/05/2011	5.2	21/06/2011	3.9
22/01/2011	4.0	22/02/2011	3.5	22/03/2011	3.1	22/04/2011	6.2	22/05/2011	4.4	22/06/2011	3.9
23/01/2011	3.2	23/02/2011	3.5	23/03/2011	4.1	23/04/2011	6.4	23/05/2011	3.7	23/06/2011	5.0
24/01/2011	3.0	24/02/2011	2.4	24/03/2011	5.3	24/04/2011	5.4	24/05/2011	4.7	24/06/2011	7.0
25/01/2011	3.1	25/02/2011	2.8	25/03/2011	4.0	25/04/2011	5.5	25/05/2011	5.9	25/06/2011	6.6
26/01/2011	3.2	26/02/2011	3.9	26/03/2011	4.4	26/04/2011	5.9	26/05/2011	4.6	26/06/2011	5.1
27/01/2011	3.1	27/02/2011	2.7	27/03/2011	3.7	27/04/2011	5.0	27/05/2011	5.8	27/06/2011	5.5
28/01/2011	3.9	28/02/2011	4.1	28/03/2011	4.9	28/04/2011	4.7	28/05/2011	5.6	28/06/2011	4.6
29/01/2011	3.0			29/03/2011	3.7	29/04/2011	4.5	29/05/2011	6.3	29/06/2011	2.5
30/01/2011	4.4			30/03/2011	4.3	30/04/2011	4.2	30/05/2011	6.4	30/06/2011	0.6
31/01/2011	4.1			31/03/2011	5.5	01/05/2011	3.0	31/05/2011	6.5	01/07/2011	0.3

