

CÁLCULOS DEL DRENAJE Y EFECTO ECONOMICO EN YACIMIENTOS HIERRO-COBALTO-NIQUELÍFEROS EN LATERITAS CON EJEMPLO DEL YACIMIENTO PUNTA GORDA EN MOA, CUBA

Constantino de Miguel Fernández

*Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMM).Las Coloradas s/n. C.P. 83329, Moa, Holguín, Cuba.
E- mail: cdemiguel@ismm.edu.cu*

RESUMEN

En el trabajo se presenta el análisis y procesamiento de resultados de un estudio hidrogeológico realizado en el yacimiento hierro-cobalto-niquelífero de Punta Gorda, ubicado en la Provincia de Holguín, Cuba. Se exponen las características hidrogeológicas por componentes de la corteza de intemperismo que forma el yacimiento. Se presentan los cálculos de drenaje del yacimiento Punta Gorda con metodología establecida por el autor, con los propios pozos de explotación mineral, con aplicación que puede ser generalizada a todos los yacimientos lateríticos con alto grado de humedad, también por mapas establecidos se pueden seleccionar las áreas más perspectivas para la creación de Plataformas de secado de la materia prima mineral sobre el terreno, con lo que se da solución al problema consistente en la alta humedad de las lateritas, a poderse alcanzar con esta combinación hasta más de un 50 % de reducción de la humedad de las laterita, con resultados que pueden aportar ahorro superior de 23 millones de USD / Año por consumo de combustible en secado de la materia prima mineral en los hornos de la industria Comandante Ernesto Che Guevara. .

ABSTRACT

In this Project, the hydro – geological characteristics are expounded in components of the weathered layer that humidity the cobalt – nickel site at Punta Gorda in Moa, Holguin, Cuba. Moreover, the results of this project contribute greatly and incalculably to the economy, since it allows the execution of a mineral exploitation project, drainage measures and a base for the creation of dry mineral platforms in the sites causing the reduction of the humidity in the upper soil layers which significantly contributes to the reduction in the consumption of fuel (Petroleum) in the drying of the minerals in the factory "Comandante Ernesto Che Guevara "of Moa.

INTRODUCCIÓN

La alta humedad de la materia prima mineral provoca que en la industria niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara con hornos de secado se tenga un alto costo en consumo de petróleo, por ello la necesidad de disminuir la humedad en el yacimiento. La argumentación del drenaje en yacimientos lateríticos se desarrolló en función de los resultados de estudio hidrogeológico realizado en el yacimiento Punta Gorda, en Moa. El yacimiento niquelífero Punta Gorda con un área de unos 8 Km², ubicados por red kilométrica de Cuba (Coordenadas Lambert) en las coordenadas: X: 700800 - 704100 Y: 218600 - 221900, tiene en la actualidad más de un 60 % de sus reservas explotadas, cuenta con diversos estudios geológicos y también hidrogeológicos, que hasta el año 2002 tenían establecido parcialmente las características hidrogeológicas del yacimiento así como de forma general las características del drenaje necesario para mejorar las condiciones de explotación mineral y de racionalidad del proceso industrial, ambos casos afectados sobre todo por el alto grado de humedad presente en el yacimiento. En el año 2004 se culminó estudio que diera respuesta con los datos necesarios para proyectar un sistema de drenaje y en base al cuál se desarrolla el presente trabajo con el que se logra un sistema de drenaje eficiente.

MATERIALES Y METODOS

Para desarrollar el trabajo se realizó un estudio Hidrogeológico detallado del yacimiento Punta Gorda ubicado en la Faja Ofiolítica Mayari – Baracoa en el Noreste de la Provincia de Holguín. En este yacimiento está desarrollado un complejo acuífero formado por dos horizontes acuíferos estratificados con dos capas, con diferencias en perfil, tanto por su granulometría como por su permeabilidad.

Afloramiento y profundidad del nivel del agua. En la mayoría de los pozos perforadas (70 %) el agua subterránea se detectó (afloró) en las peridotitas lixiviadas y serpentinizadas agrietadas y su profundidad de afloramiento oscila en el yacimiento entre 0 y 27,4 m, con estabilización de los niveles a profundidades entre 4,1 y 29,2 m.

Dirección del flujo subterráneo. Existe una dirección del flujo predominantemente al Norte, hacia el río Moa, con desviaciones locales en los extremos del yacimiento en dirección al río Yagrumaje, río Los Lirios, depresiones del terreno con afluencia de agua (manantiales) y en la parte central del yacimiento existe un flujo radial en dirección a la zona en que el yacimiento se encuentra explotado hasta las rocas peridotitas.

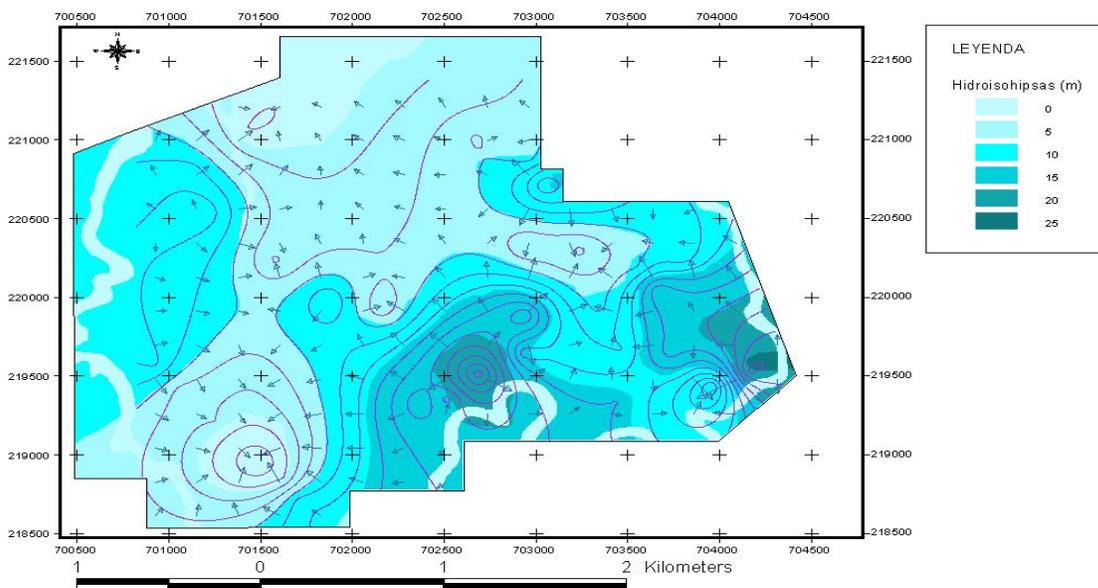


Figura 1. Mapa de hidroisopiezas (isolíneas y tonalidad de colores cada 5 m).

Espesor saturado en lateritas. En el territorio los espesores de las peridotitas alteradas es de unos 30 m. como valor medio. En las lateritas la zona saturada no representa como tal un acuífero, ya que debido a la litología existente, prácticamente no existe circulación lateral del agua, por lo que esta zona la podemos considerar como un “acuitardo “. Los espesores saturados perforados en las lateritas oscilan desde 0 m. hasta 27,6 m. y los mismos dependen del relieve del terreno y base de erosión del mismo.

Permeabilidad. La permeabilidad representada por el coeficiente de filtración es variable tanto en las lateritas como en las peridotitas. En las lateritas el coeficiente de filtración oscila entre 0,006 y 0,21 m / día. Y por capas sus valores medios son como sigue: Capa 1- 0,106 m /día, Capa 2 (lateritas

productivas) – 0,043 m / día. En las peridotitas la permeabilidad predominante es de unos 0,43 m / día.

Acuosidad. La acuosidad determinada es referida a las lateritas por su importancia en el proceso minero- industrial y objeto de estudio principal, sus valores son bajos y expresados en l. seg. / m. de abatimiento presenta valores menores de 0,1 l. seg. / m.

Humedad de las lateritas. La humedad en las lateritas oscila en la Capa 1 entre 17,1 y 47,3 %, (ver Figura 2), en la Capa 2 entre valores de 31,4 y 94,9 %. Esta diferencia de valores entre estas capas es debido a que en la Capa 1 la granulometría es más gruesa y sobre ella actúa directamente el proceso de evaporación al ser la primera Capa a partir de la superficie del terreno.

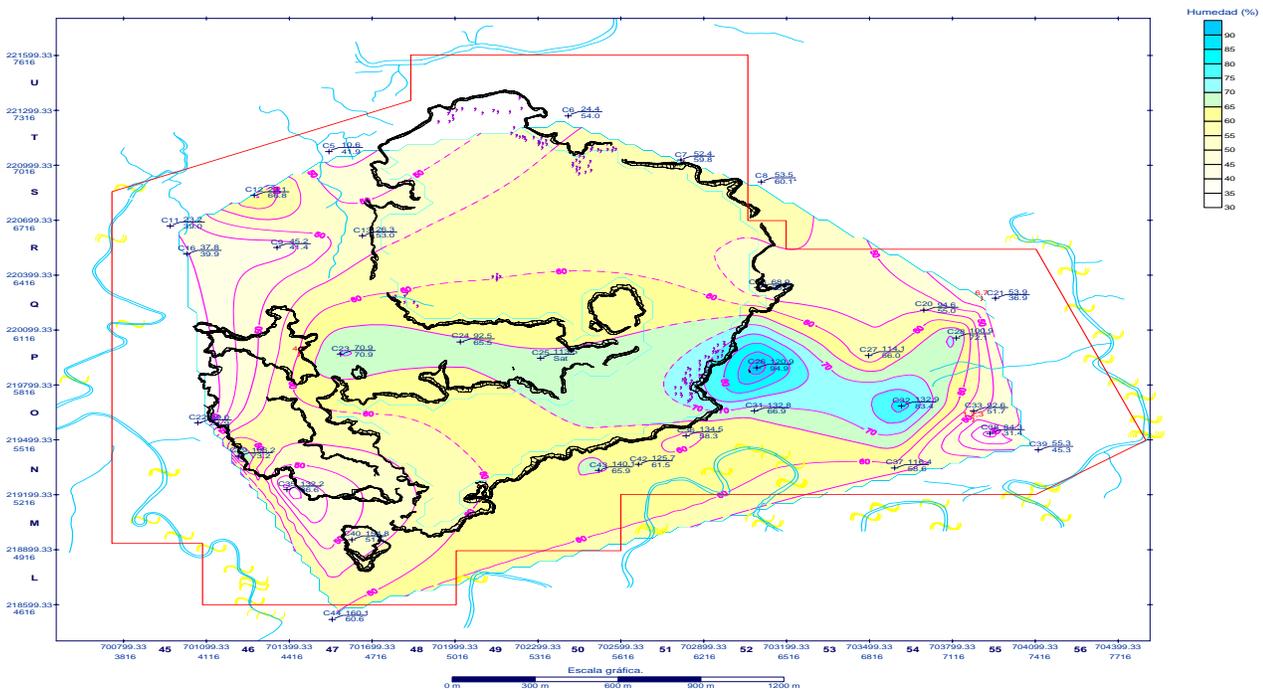


Figura 2. Humedad de las lateritas (de 30 a más del 90 %) con tonalidad de colore cada 5 %.

Régimen de las aguas subterráneas. Las aguas subterráneas del yacimiento Punta Gorda, las podemos diferenciar en los dos horizontes acuíferos que forman el complejo acuífero en las ofiolitas. El estrato superior (Capa 1) de régimen esporádico. El estrato de lateritas (Capa 2) con saturación por ascensos capilares forma un acuitardo, sobresaturado en su base por aguas confinadas (con presión) de las peridotitas que las subyacen, en las que las presiones oscilan entre 2 y 8 m de columna de agua (0,2 a 0,8 atm.).

Ascensos capilares. Las propiedades de ascenso capilar de las lateritas fueron determinadas según metodología basada en la granulometría de los sedimentos analizados y su porosidad. Como resultado de los cálculos efectuados tenemos que los ascensos capilares en las lateritas oscilan entre 0 y 25,5 m. Los menores valores coinciden con espesores lateríticos de la Capa 1 que presenta la granulometría más gruesa, con ascensos que oscilan entre 0 y 3,4 m. En la Capa 2 (capa productiva en mineral) la granulometría es más fina, correspondiendo con ella los ascensos capilares oscilan entre 20 y 32,8 m. Con valores medios de 26,0 m.

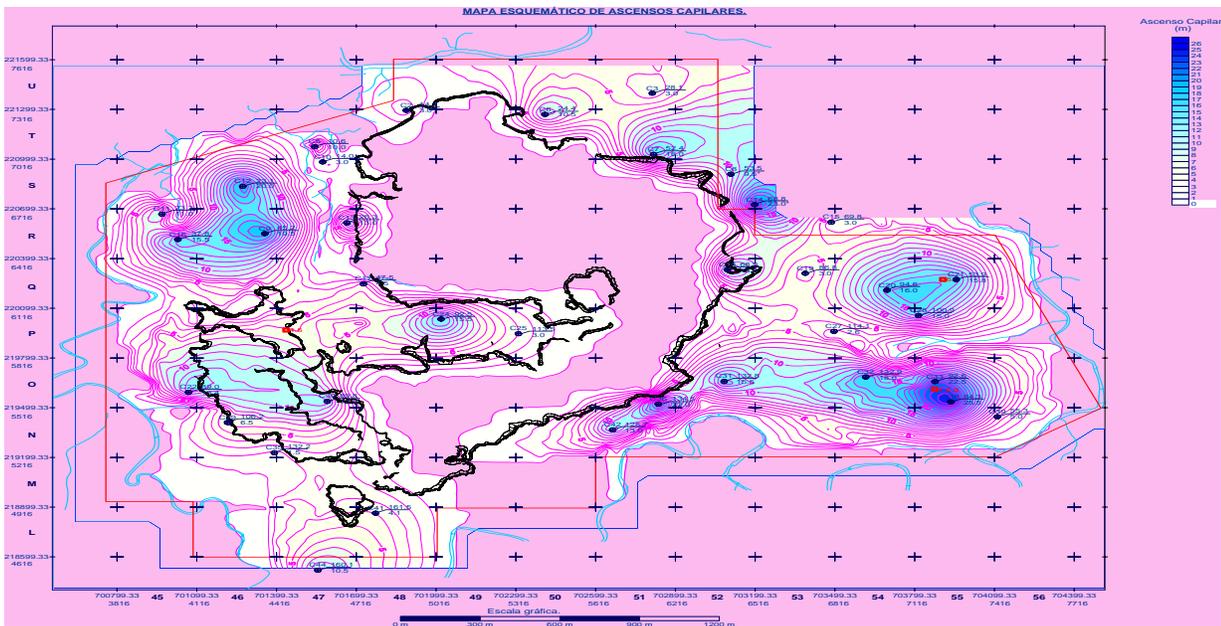


Figura 3. Mapa de ascensos capilares (Con isolíneas cada 1 m.)

RESULTADOS

Cálculo del drenaje. Considerando que el yacimiento de estudio y otros similares se explotan a cielo abierto (desde la superficie del terreno), las condiciones hidrogeológicas existentes y sobre todo la baja permeabilidad tanto de las lateritas como de las peridotitas y las altas propiedades de ascenso capilar de las lateritas, no es recomendable drenaje vertical (pozos), ni horizontal soterrado, dado el alto costo de la inversión ya que se requeriría de una red de drenaje muy densa para lograr cierta efectividad, inversión que no sería amortizada, dado el tiempo en que se explotan estos yacimientos en su totalidad (15 – 30 años).

De tal forma el drenaje más recomendable es un drenaje abierto, desde la superficie del terreno hasta cortar no menos de 2 m. el lecho en las peridotitas, que representa a un acuífero agrietado y que aunque con baja permeabilidad, la misma es unas 8 veces mayor que la permeabilidad de las lateritas y representa un acuífero semi-confinado con presiones considerables.

Este tipo de drenaje requerirá de drenes principales y drenes secundarios. Los drenes principales deberán estar orientados en perfiles longitudinales en posición tangencial a las isolíneas del relieve de las aguas subterráneas en las peridotitas (ver mapa de hidroisopiezas Figura 1.), con el objetivo de drenar el flujo subterráneo desde las cotas mas altas y con ello disminuir el flujo hacia cotas mas bajas. Además estos drenes principales servirán de colector de las aguas que drenaran los drenes secundarios, los cuales deberán ser construidos formando una red por bloques, con distancia entre ellos en correspondencia con sus radios de influencia durante su funcionamiento y orientados de forma vertical a los drenes principales.

En la practica minera está demostrado que las distintas rocas y sedimentos en dependencia de su granulometría, permeabilidad y trasmisividad, el nivel de las aguas subterráneas presenta determinados gradientes (I) hacia los drenes, dentro del radio de estos (R), teniéndose que mientras menor sea la trasmisividad, menor será la influencia (R) y mayor el gradiente (I) del cono depresivo.

Considerando el tipo de roca presente en el yacimiento de estudio que deben ser drenadas (lateritas de granulometría y textura arcillosa), los gradientes que deben producirse durante el drenaje, serán aproximadamente $I = 0.15$ (Sedenko, M. V.; Skavalanovich, I. A.1980).

Para poder pronosticar aproximadamente el radio de influencia de los drenes que proponemos, consideramos el significado de gradiente I : aproximadamente igual a la tangente del ángulo que se forma con plano horizontal en el punto limite de influencia del dren (R) con un abatimiento en el dren (S), y tendríamos según Figura 4:

$$\text{tag } \phi = I = \frac{S}{R} \quad \text{de donde} \quad R = \frac{S}{I}$$

R - Radio de influencia del dren (m.) - (cateto adyacente del ángulo ϕ).

S - Abatimiento en el dren (m).- (cateto opuesto del ángulo ϕ)

I - Pendiente del nivel piezométrico del agua.

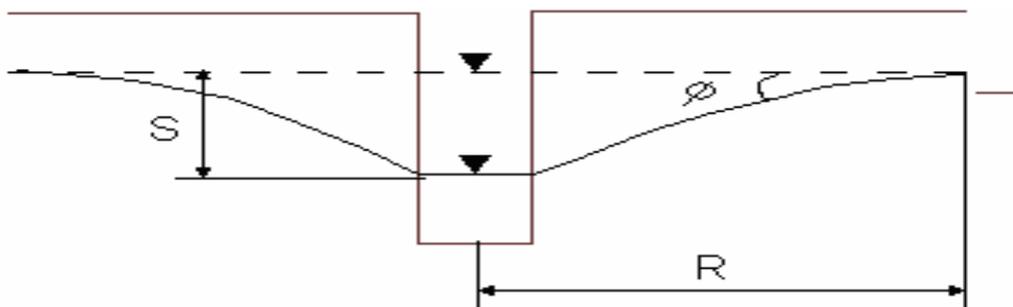


Figura 4. Esquema de abatimiento de niveles provocado por drenes y su radio de influencia.

Por datos de las perforaciones ejecutadas el nivel del agua en las lateritas yace entre 5 y 25 m. sobre las peridotitas, y la pendiente media del nivel por drenaje de las lateritas será 0,15 igual a 1 m. de abatimiento por cada 6,666 m. de longitud. Considerando un valor medio del espesor acuífero en las lateritas $H=12$ m, el objetivo del dren será, obtener un abatimiento S de unos 12 m. en las lateritas saturadas como promedio de aquí que el radio de influencia aproximado será:

$$R = \frac{12}{0.15} = 80 \text{ m.}$$

Los drenes principales y secundarios deberán ser construidos a distancias entre 160 y 200 m. uno de otro para mayor eficacia de su funcionamiento al producirse la influencia entre los drenes al final de la longitud de su radio de influencia durante el proceso de drenaje.

El cálculo del tiempo en que demorara en desarrollarse la influencia máxima en área de los drenes lo determinaremos aplicando el método de K. E. Lembke, donde:

$$R = 1.73 \sqrt{\frac{K * H * t}{\mu}}$$

R - Radio de influencia, (80 m).

K - Coeficiente de filtración de las lateritas, (0.043m. /día).

H - Espesor acuífero en los límites de influencia del dren, (12 m).

t - Tiempo de funcionamiento del dren, días.

μ - Entrega de agua de las lateritas tomado de literatura (0,015).

Despejando t de la formula anterior tenemos:

$$t = \frac{\left(\frac{R}{1,73}\right)^2 * \mu}{K * H} = \frac{(0,578R)^2 * \mu}{K * H} = \frac{(0,578 * 80)^2 * 0,015}{0,043 * 12} = \frac{32,07}{0,516} = 62,15 \text{ días.}$$

Para un dren con valores medios de los parámetros hidrogeológicos presentes en el corte laterítico del yacimiento estudiado el desarrollo máximo del radio de influencia del dren lo tendríamos a los 62,15 días de iniciado su funcionamiento.

La función de los drenes principales que rodean los Bloques de laterita formados (200 m x 200 m) sería eliminar la alimentación subterránea lateral de los bloques y eliminar con ello la presión de las aguas en las peridotitas bajo las lateritas. El desecamiento total de cada Bloque lo tendríamos en función del coeficiente de almacenamiento (entrega de agua) de las lateritas, el espesor a desecar que en este caso será de unos 12 m. y del área de los bloques, de donde el tiempo en desecarse totalmente los bloques creados estará en función del volumen de agua acumulado en los bloques y del caudal de drenaje vertical de las lateritas. V:

El volumen de agua acumulado en las lateritas para bloques de parámetros medios considerados será:

$$V = F \times H \times \mu$$

$$F = \text{Área del Bloque} = 200 \times 200 = 40\,000 \text{ m}^2$$

$$H = \text{Espesor de las lateritas} = 12,0 \text{ m.}$$

$$\mu = 0,015$$

$$V = 40\,000 \times 12,0 \times 0,015 = 7\,200 \text{ m}^3$$

El Caudal de drenaje vertical de las lateritas será:

$$Q_d = K \times F \times I$$

$$K = \text{Coeficiente de filtración de las lateritas} = 0,043 \text{ m/ día.}$$

$$F = \text{Sección de filtración vertical} = \text{Área del bloque} = 40\,000 \text{ m}^2$$

$$I = \text{Pendiente de filtración (vertical)} = 1$$

$$Q_d = 0,043 \times 40\,000 \times 1 = 1\,720 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

El tiempo medio total de secado de cada bloque será:

$$T_b = t + \frac{V}{Q}$$

$$t = \text{Tiempo en demorar el desarrollo total del cono depresivo del dren} = 62,15 \text{ días.}$$

$$V = \text{Volumen medio de agua acumulado en cada bloque} = 7200 \text{ m}^3.$$

$$Q = \text{Caudal de drenaje de las lateritas con funcionamiento de los drenes} = 1\,720 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

$$T_b = 62,15 + \frac{7200}{1720} = 62,15 + 4,19 = 66,34 \text{ días.}$$

Para lograr una mayor efectividad de los drenes, se deberá construir inicialmente los drenes principales, con posición tangencial a la dirección del flujo subterráneo (ver Figura 1), iniciando la construcción de cada dren desde la menor cota del agua, y en ascenso hacia la mayor cota.

Estos drenes son los que además de drenar las lateritas y cortar la entrada de agua a los bloques formados, evacuarán del territorio las aguas drenadas, y luego drenes secundarios que formarán los bloques y deberán ser perpendiculares entre los drenes principales y a distancias no mayores de 200 m uno de otro. En la ejecución de la red de drenaje el material laterítico que se excavara se procesara industrialmente y el dren en las peridotitas se deberá realizar con retroexcavadora hasta la profundidad mínima de 2 m manteniendo la pendiente de su lecho en peridotita acuífera.

Posterior a la construcción del drenaje se deberá explotar el yacimiento por bloques, delimitados por los drenes principales y secundarios, siempre comenzando por los bloques ubicados en las cotas más altas del yacimiento, reduciendo así el flujo de agua desde las cotas más altas en dirección a los bloques ubicados en cotas inferiores.

Pronóstico del caudal de los drenes. Para este cálculo nos basaremos en metodología de S.F. Averianov, donde el caudal se determina por 1m. de longitud del dren, para drenes cuyo fondo yace sobre rocas permeables (en nuestro caso las peridotitas poco agrietadas). La expresión de cálculo será:

$$Q = \frac{K * H^2}{\sqrt{a * t}} + q \quad \text{m}^3/\text{día.}$$

Q- Caudal de inicio de funcionamiento de los drenes por 1m. de longitud, m³/ día.

K- Coeficiente de filtración del estrato que se drena = 0.043 m/día.

H- Potencia media acuífera (de laterita saturada)=15m.

a- coeficiente de conductividad del nivel de lateritas (determinado por cálculos) = 97 m² /día.

t- Tiempo que se asume para el cálculo =1 día.

q- Caudal natural lateral del flujo subterráneo de las peridotitas hacia los drenes, m³ /día.

$$q = KHpl$$

Kp – Coeficiente de filtración medio de las peridotitas = 0,14 m /día.

Hp- Espesor medio asumido de peridotitas cortado por los drenes = 2 m.

I- Gradiente hidráulico natural de las aguas subterráneas en peridotitas (valor medio de mapa) = 0,06.

$$q = 014 * 2 * 0,06 = 0,0168 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

Sustituyendo en la formula de caudal tenemos:

$$Q = \frac{0,043 * 12}{\sqrt{97 * 1}} + 0,0168 = 0,6455 \text{ m}^3 / \text{día. m.} = 0,0075 \text{ l/ s.m.}$$

DISCUSIÓN

Argumentación del efecto técnico - económico y ambiental del drenaje: El objetivo principal del trabajo lo representa la disminución del gasto en consumo de combustible en el secado de la materia prima mineral en los hornos de la industria. Para ello lo principal es determinar el efecto económico que representa el drenaje propuesto en las lateritas.

Para los cálculos del efecto económico se consideraron los siguientes aspectos:

1. Producción media anual de Sinter de Ni. 30 000 Tm.
2. Humedad de materia prima mineral a la entrada de los hornos de secado: 37,5 %.
3. Cantidad de materia prima mineral para la obtención de 1 Tm de Sinter de Ni. 124,5 Tm.
4. Consumo de materia prima mineral anual: 3,735 x 10⁶ Tm./año

5. Consumo actual de petróleo por cada Tm de materia prima secada en hornos: 32,3 Kg.
6. Consumo actual de petróleo en secado de materia prima mineral anual: 120 640 Tm. = 768 410,83 Barriles /año
7. Costo asumido del petróleo 70,00 USD/ Barril.
8. Gasto anual actual por consumo de petróleo en secado de materia prima mineral: 53 788 758,10 USD/ año.
9. Espesor medio de las lateritas en el yacimiento, 12 m.
10. Peso volumétrico de la laterita: 1,8 Tm/m³.
11. Área de cálculo para referencia, 1 Km².
12. Volumen total de materia prima mineral por Km² de yacimiento: 12 000 000 m³ = 21 600 000 Tm.
13. Consumo de petróleo en secado mineral por Km² de yacimiento en condiciones actuales: 697 680 Tm/Km².
14. Gasto en consumo de petróleo por secado de materia prima mineral por Km² de yacimiento en condiciones actuales: 311 067 515,92 USD. (3, 213 años)

15. Longitud total de drenes a construir por Km² de yacimiento: 12 000 m.
16. Volumen de roca a excavar con retroexcavadora formando el drenaje en peridotita con profundidad 2 m y ancho 1 m = 24 000 m³ / Km².
(Para este cálculo el costo medio por cada m³ de excavación = 50,00 USD, considerando la explanación del trazado con bulldózer, transportación del material extraído, uso de explosivo, topografía del trazado y alcantarillas de conexión entre bloques).
16. Costo de construcción del drenaje por excavación con retroexcavadora: 1 200 000 USD/km².
17. Volumen de materia prima mineral a excavar durante la construcción del drenaje 6 480 000 Tm/km²
18. Consumo de petróleo en secado de materia prima mineral durante la construcción del drenaje: 209 304 Tm/Km².
19. Gasto por petróleo en secado de materia prima durante la construcción de los drenes por cada km²: 93 320 254,78 USD/Km²
20. Volumen de materia prima mineral a explotar posterior a la construcción de los drenes por Km² de yacimiento: 15 120 000,00 Tm/Km².
21. Consumo de petróleo en secado de materia prima mineral por Km² de yacimiento posterior a la construcción del drenaje: 244 168 Tm/Km².
(se considero una eficiencia del drenaje de un 50 %, considerando el período de lluvia en el territorio de unos 182 días /año).
22. Gasto por consumo de petróleo en secado de materia prima mineral posterior a la construcción del drenaje: 108 873 630,57 USD/Km².
23. Consumo total de petróleo en secado de materia prima mineral durante la construcción y explotación con drenaje funcionando: (18 + 21): 453 472 Tm/Km².
24. Gasto total por construcción del sistema de drenaje y secado de materia prima durante la construcción del drenaje y con funcionamiento de este por Km² (16 + 19 + 22): 203 393 885,35 USD/Km².
25. Ahorro de combustible por explotación mediante la construcción de sistema de drenaje: 244 208 Tm/Km²

26. Efecto económico por ahorro de combustible mediante la explotación del yacimiento con drenaje (14 – 25): 107673 630, 57 USD/Km².
27. El ahorro de combustible en el secado de la materia prima mineral es de unas 42 250,52 Tm/año que representa un 19,5 % del consumo actual con una disminución de 132 092 Tm/año del CO₂ que actualmente se vierte a la atmósfera por petróleo utilizado en los hornos de la industria.
28. Tiempo de construcción del drenaje = 1,73 años y tiempo de explotación de 1 Km² de yacimiento con drenaje construido = 4,05 años. Total 5,78 años.

El efecto económico calculado por explotación de yacimientos con drenaje propuesto a mediano plazo (después de 66 días de creado los bloques que se exploten) durante la explotación de 1 Km² de yacimiento podrá ser de: **107 673 630,57 USD / Km²**. Lo que representa un ahorro medio anual de: **18 618 991, 97 USD / año**, por combustible dejado de consumir en secado de materia prima mineral o lo que es igual a unos: **51 010, 94 USD /día**.

En los cálculos se consideró la construcción total de la red de drenaje antes de explotar los bloques desecados, por lo que con la construcción de la red paralela a la explotación de bloques ya desecados el tiempo de explotación de 1 Km² se podrá reducir y con ello se incrementará el efecto económico. Además se tendrá un incremento del efecto económico no calculado por el secado de la materia prima sobre la superficie del terreno.

Los yacimientos de lateritas níquelíferas como regla tienen varios Km², por lo que durante la explotación de cada yacimiento el efecto económico se incrementará en función del área de los yacimientos, espesor de las lateritas níquelíferas y método de explotación, ya que con menor espesor y métodos de explotación diferentes a los utilizados en el yacimiento Punta Gorda (menor diámetro de los pozos de explotación) el área de los Bloques a crear pueden ser menores y con ello se incrementa la efectividad del drenaje.

CONCLUSIONES.

- Desde el punto de vista Hidrogeológico las condiciones existentes en el yacimiento Punta Gorda son poco complejas. Existe un complejo acuífero formado por dos horizontes, el primero en las lateritas (Capa 1y Capa 2), que se caracterizan por poseer propiedades de "acuitardo ", el segundo horizonte acuífero está formado por las capas 3 y 4 en las peridotitas siendo este el principal acuífero en el yacimiento, con un régimen de acuífero semi-confinado, con presiones que alcanzan hasta los 8,4 m (en algunos puntos puede ser mayor) en columna de agua. La profundidad de afloramiento del agua subterránea varía en función del relieve del terreno y profundidad del techo del acuífero en las peridotitas agrietadas y oscila entre 1 y 27,4 m. La dirección del flujo subterráneo general es en dirección al Norte, con desviaciones locales hacia ríos y pozos de explotación mineral existentes. El gradiente de las aguas subterráneas varía en dependencia del relieve del terreno su valor medio en el territorio es de 0,018. La permeabilidad de las lateritas expresada por el coeficiente de filtración presenta un valor medio de 0,043 m / día.
- El tiempo de drenaje de cada bloque es de unos 66 días, lo que proporciona la posibilidad de explotar el yacimiento con el mínimo de humedad posible en cortos períodos de tiempo posterior a la construcción de los drenes por bloques y en todo el yacimiento.
- El trabajo como tal presenta un alto efecto económico, social y ambiental, ya que establece una metodología de cálculos que sirve de base para la ejecución de Proyectos de Explotación Minera en los yacimientos lateríticos que incluyan sistemas de drenaje de estos, de forma que permitan el desecamiento de los yacimientos a corto y mediano plazo, también aporta datos (mapas) que permiten seleccionar las áreas para Plataformas de secado de la materia prima antes de su ingreso a la industria, con lo que se podrá obtener una considerable reducción de la humedad en las lateritas (hasta más de un 50 %) y con ello reducir considerablemente el consumo de combustible (Petróleo) durante el proceso de secado de mineral en hornos de la Industria CECG, pudiéndose alcanzar un ahorro total en más de: **51 010, 94 USD / día, 18 millones USD anualmente y más de 107 millones de USD por cada Km²** de yacimiento en unos 5,8 años de explotación con el ritmo actual, ya que de incrementarse el ritmo de explotación mineral el efecto económico será mayor por año y por Km² de yacimiento. La inversión en construcción del drenaje representa solo un 1,1 % del ahorro en USD por km² con su aplicación.

- Paralelo al efecto económico se produce un efecto ambiental positivo al disminuirse el vertimiento a la atmósfera por la combustión del petróleo que se economiza en **132 092 Tm/año. de CO₂**.
- Las distancias entre drenes y dimensiones de los Bloques corresponden a las condiciones de espesor, permeabilidad y método de explotación del yacimiento Punta Gorda, para yacimientos con otras características de espesor, permeabilidad y método de explotación las distancias entre drenes y magnitud de los bloques que se formen deberán ser calculadas, partiendo del principio de que mientras menor sea el área de los bloques y menor el diámetro de los pozos de explotación mineral, menor espesor de lateritas níquelíferas, mayor eficiencia se tendrá en el drenaje y menor tiempo del desecado de los bloques.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Blanco. J. L; G. E. LLorent.** 2004. Investigaciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas de la Base Minera Punta Gorda (Informe técnico). 64 Pág. INRH, Holguín.
- De Miguel F. C.** 2007. Influencia de procesos hidrogeológicos en la composición mineral y humedad de yacimientos ferro-cobalto-níquelíferos en lateritas, con ejemplo de estudio del yacimiento Punta Gorda, en Moa, Cuba.18 Pág., ISMM, Moa.
- De Miguel F. C.** 2004. Informe conclusivo de las investigaciones hidrogeológicas e ingeniero geológicas del yacimiento Punta Gorda. 34 Pág. ISMM, Moa.
- De Miguel F. C. 2002. Proyecto Hidrogeología e Ingeniería Geológica del Yacimiento Punta Gorda (Programa General de Trabajos Hidrogeológicos).12 pág ISMM, Moa.
- Makcímov V. M. 1980. Guía practica del Hidrogeólogo. Edit. NIEDRA. 512 Pág. San Petersburgo.
- Sánchez S. Y. 2006. Caracterización hidrogeológica e ingeniero-geológica del yacimiento Punta Gorda. (Trabajo de Diploma). 113 pág. ISMM, Moa.
- Skabalanóvich I. A.; M. Cedenko. 1980. Hidrogeología e ingeniería geológica y drenaje de yacimientos minerales. Edit. NIEDRA. 205 pág. Moscú.