Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MÁSTER EN INGENIERIA DE LOS RECURSOS NATURALES

EL MÉTODO DE EXTRACCIÓN POR TRANSFERECIA COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA LA EXPLOTACIÓN DE YESO EN EL PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE - BRASIL

Alumno: Gregório Isaque de Macêdo Filho

Directora: Profa. Dra. Pura Alfonso Abella
Co-director: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Manresa, Junio de 2010

Esto trabajo tiene como principal objetivo comparar, des del punto de vista de las posibilidades de la minería sostenible y sus impactos ambientales, el método tradicional utilizado (CORTAS) en la explotación de yeso en el Pólo Gesseiro do Araripe (Brasil), con la explotación por TRANSFERENCIA de tipo Descubiertas, realizado como proyecto de Máster en Ingeniería de los Recursos Naturales, por la Universidad Politécnica de Cataluña, bajo la tutoría de la Prof. Dra. Pura Alfonso Abella.

Dedico este trabalho aos meus pais Gregório e Marlene e aos meus irmãos pelo apoio e compreensão que sempre tiveram, à minha esposa Maristela, por ser ela meu ponto de equilíbrio espiritual e meu porto seguro nas horas difíceis.
A los profesores y amigos del Máster .
Gregório Macêdo Filho.

AGRADECIMIENTOS

- A mí directora, Profa. Dra. Pura Alfonso Abella, por compartir su conocimiento y por su paciencia.
- A mí Co-director, el Prof. Dr. Júlio César de Souza que desde Brasil ha participado de esto proyecto.
- A los profesores y funcionarios de la Escuela Politécnica Superior de Manresa.
- A todos que participaron de alguna forma en esto trabajo.

Resumen

La explotación de yeso en el Pólo Gesseiro do Araripe /Brasil es el mayor generador de desarrollo de la Región, proporcionando mejores condiciones de vida a la población local, pero también es uno de los grandes proveedores de impactos negativos al medio ambiente. Una alternativa de exploración sostenible del yeso en este sitio puede ser la selección de un método de laboreo que ofrezca menos impactos ambientales, y que transforme el área explorada en un local que continúe a contribuir, de forma positiva, al ecosistema y al desarrollo regional. Este trabajo buscó comparar el método por explotación por Cortas tradicionalmente utilizado en el Pólo, con el método tipo Transferencia que permite la recuperación del hueco al paso que se desarrolla la mina, menos impactante desde el punto de vista ambiental, considerado aquí como alternativa sostenible. Se ha concluido que la exploración de los yacimientos de yeso en esta región puede ser realizada de modo sostenible tras el método por Transferencia, menos impactante y que viabiliza el posterior aprovechamiento del área explotada, transformando la minería considerada dañosa en una actividad generadora de desarrollo inmediato y continuado.

Palabras claves: Explotación de yeso, desarrollo sostenible, método de extracción por transferencia.

Abstract

The exploitation of gypsum in the Pólo Gesseiro do Araripe/Brazil is the largest generator of development in the region, providing better living conditions for the local population, but is also a supplier of negative impacts to the environment. An alternative of sustainable exploration gypsum of Pólo can be done by selecting the processing method that offers less environmental impacts, or transforming the area in one local which continues to contribute positively, to the ecosystem and to the regional development. This work seeks to compare the method usually utilized in the exploitation of gypsum in the Pólo (Open Pit) with the Strip Mining method, which is less (environmentally) harmful, considered in this work as a sustainable alternative. Does concluded that the exploitation of deposits of gypsum, in this region, can be done sustainably, by used to the Strip Mining method, which is less harmful and which viable the reuse of the exploited area, by transforming the mining activity that not only generates immediate development, but also continued development.

Keywords: Exploitation of gypsum, sustainable development, Strip Mining method.

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS
INDICE DE TABLAS

1- INTRODUCIÓN 12

2 – CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO 13
2.1 – Ubicación Geográfica y Accesos 13
2.2 - Aspectos Fisiográficos 15
2.2.1 – Clima 16
2.2.2 – Suelos 16
2.2.3 – Hidrografía y hidrogeología 17
2.2.4 - Flora y Fauna 18
2.2.5 - Geología Regional 19
2.2.6 - Geología Local 20
2.3 – El yeso del Araripe 22

3 - ASPECTOS ECONÓMICOS Y SOCIO-CULTURAL 23
3.1 – Panorama Mundial 23
3.2 - Cadena Productiva en Brasil 24
3.3 – Sector Económico 26
3.4 - Socio-Cultural 28

4 – METODOLOGIA APLICADA 29
4.1 – Mapa Conceptual 30
4.2 – Etapas del Estudio 31

5 – PROYEECTO PILOTO - ESTUDIOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA 31
5.1 – Metodología Para el Cálculo de Volumen del Yacimiento 31
5.1.1- Herramientas de Apoyo 32
5.1.2- Modelo Geológico del Yacimiento 33
5.2 - Planificación de Labores 37
5.2.1- Aspectos Generales 37
5.2.2 –Método Por Cortas (Open pit) 38
5.2.2.1 - Cálculo de Reserva 39
5.2.2.2 – Plan de Explotación 40
5.2.2.3 - Dimensionamiento de Maquinaria 42
5.2.2.4 - Plan de voladura 45
5.2.3 – Método Por Transferencia 48
5.2.3.1 - Cálculo de Reserva 48
5.2.3.2 – Plan de Explotación 49
5.2.3.3 - Dimensionamiento de Maquinaria 52
5.2.3.4 - Plan de voladura 54
5.2.4 – Estudio de Viabilidad Económica del Proyecto 58

6 - MINERÍA COMO GRAN GENERADA DE IMPACTOS AMBIENTALES 61
6.1 – Marco Legislativo en España, Cataluña y Brasil 61
6.2 - Impactos Ambientales de la Minería a Cielo Abierto 65
6.2.1 Impactos Causados por la Minería en el Pólo Gesseiro 66

6.2.2 - Imágenes de Satélite como Herramienta de Monitoreo Ambiental 68
6.3 - Cierre y Rehabilitación de la Mina y el Pasivo Ambiental 72
6.3.1 – Costes del Cierre y Rehabilitación 73
6.3.2 – El Pasivo Ambiental 74

7 - DISCUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES 75

8 - REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 79

INDICE DE FIGURAS

Figura 01- Brasil en Sudamérica y división Política de Brasil. (Fuente: IBGE, 2010). 13
Figura 02- Estado de Pernambuco y ruta: Recife – Araripina. (Fuente: DNIT, 2010). 14
Figura 03 - Localización del área donde sitúa el cuerpo mineral – Mina Rancharia. (Fuente: DNIT, 2010). 14
Figura 04 - Ubicación del ecosistema de Caatinga en el territorio brasileño. Fuente CPRM (2010). 15
Figura 05- Depósitos sedimentarias de yeso en Brasil. (Fuente: tkgeo.blogspot .com) 20
Figura 06 - Mapa geológico simplificado de la Cuenca del Araripe. (Fuente: Araújo, 2004. Compilado de DNPM, 1996b) 21
Figura 07 – Foto del talud del cuerpo mineral y material del cubrimiento. 22
Figura 08. Reservas nacionales de yeso. (Fuente: DNPM-Brasil, 2009). 25
Figura 09 – Gráfico de relación entre el valor (en Euros) de la producción por sustancia. (Fuente: DIDEM-DNPM, 2008 - Brasil, 2009). 26
Figura 10 - Distribución del empleo de acuerdo con el mineral explotado en el Sertão de Pernambuco. (Fuente: DIDEM-DNPM, 2008 - Brasil, 2009). 27
Figura 11. - Mapa conceptual para el planeamiento del estudio. Autoría propia. 30
Figura 12 – Orificios de Sondeo (Drillholes). Autoría propia. 34
Figura 13 - Perfil gráfico cuerpo mineral y orificios de Sondeo. Autoría propia 35
Figura 14 – Representación tridimensional del cuerpo mineral. Autoría propia. 36
Figura 15 – Perfil gráfico – proceso construcción de los bloques modelo para determinación de la reserva de yeso y cuantificación del estéril. Autoría propia. 36
Figura 16 - Perfil gráfico del cuerpo mineral y orificios de Sondeo y relevo. Autoría propia. 37
Figura 17 – Gráfico de la evolución de los precios del yeso ROM (Fuente: DNPM – 1997- 2007). 40
Figura 18 – Representación gráfica de mina y topografía. Autoría propia. 41
Figura 19 – Modelo de malla de perforación a ser aplicada en el desmonte de la mena. Autoría propia. 47
Figura 20 - Transferencia de masas en el ciclo de explotación por descubiertas. Autoría propia. 50

Figura 21 - Avance de la mina con relación al cuerpo (Vista inversa).
Autoría propia. 52
Figura 22 - Imagen del Google Earth del área donde están ubicadas las tres mayores explosiones del Pólo Gesseiro de Araripe.
(Fuente: googleearth.com, 2010) 68
Figura 23. – Imagen de satélite donde están ubicadas las mayores explotaciones de yeso del Pólo Gesseiro de Araripe en 1992. 70
Figura 24. – Imagen de satélite donde están ubicadas las mayores explotaciones de yeso del Pólo Gesseiro de Araripe en 2007. 70

INDICE DE TABLAS

Tabla 01- estadísticas de producción de yeso en Brasil 2005-2007
(Fuente: DNPM-Brasil, 2008). 24
Tabla 02 – Reservas de yeso región del Polo Gesseiro del Araripe,
Fuente: DNPM-Brasil, 2006. 25
Tabla 03 – Coordenadas en metros de los orificios de sondeo. 34
Tabla 04 – Análisis químico de los orificios de sondeo 35
Tabla 05. – Característica acerca de la producción de la mina
(método por Cortas). 39
Tabla 06 – Facturación anual de la empresa. 40
Tabla 07 – Características del material estéril y mena. 40
Tabla 08 – Características Generales con volumen y tonelaje de los banqueos. 42
Tabla 09 – Horas trabajadas en la mina. 42
Tabla 10 – Producción mensual proyectada de la mina. 42
Tabla 11 – Características de los equipos. 44
Tabla 12 – Característica de los equipos utilizados en la remoción de estéril. 44
Tabla 13 – Características de los equipos de labores. 44
Tabla 14. Resumen del plan de voladura para Cortas (período sequía). 45
Tabla 15. Resumen del plan de voladura para Cortas (período lluvioso). 46
Tabla 16 – Características acerca de la productividad de la mina por Strip Mine. 49
Tabla 17 – Facturación anual de la empresa por Descubiertas. 50
Tabla 18 – Características del material estéril y mena. 51
Tabla 19. - Características Generales de los Paneles (volumen y tonelaje)
constituyentes de las fases de desarrollo por Descubiertas. 52
Tabla 20 – Horas trabajadas en la mina. 52
Tabla 21 – Producción mensual proyectada de la mina. 53
Tabla 22 – Características de los equipos por Descubiertas. 53
Tabla 23 – Característica de los equipos utilizados en la remoción del estéril. 54
Tabla 24 – Características de los equipos de laboreo. 55
Tabla 25. - Resumen del plan de voladura para Descubiertas
(período sequía). 56
Tabla 26. - Resumen del plan de voladura para Descubiertas
(período de lluvias). 57

Tabla 28 - Respuestas económicas del proyecto piloto desarrollo Método de Cortas. 59
Tabla 29 - Respuestas económicas del proyecto piloto desarrollo Método de Transferencia (Descubiertas). 59
Tabla 30 - Resumen comparativo respecto los principales aspectos técnicos y económicos entre los métodos de Cortas y transferencia. 59

1 – INTRODUCIÓN

La selección del método de explotación minera es uno de los principales elementos en el análisis de viabilidad económica de una mina. De él dependerá todo el desarrollo de la actividad minera, además de sus ganancias y tiempo de vida útil del emprendimiento. Tal selección debe considerar las características geológicas, sociales e ambientales y de infraestructura de la región donde será instalada de forma a ofrecer menor costo, maximizar a productividad, minimizar os impactos ambientales, así como garantir condiciones técnicas de seguridad laboral, teniendo en cuenta el desarrollo social y económico.

El Pólo Gesseiro del Araripe es un polo minero y industrial ubicado en la Cuenca Sedimentar del Araripe/Brasil, formado por micro, pequeñas y medias empresas (42 minas, 139 industrias de calcinación y 726 fabricas de pre-moldeados) que generan 13.200 empleos directos y 66.000 indirectos en las industrias de transformación, construcción civil, cemento, máquinas y piezas, sector hotelero entre otros, responsable por uno 52,3% de toda la producción mineral en la Región. Siendo así, la actividad minera destinada a la explotación de este recurso primario es el mayor generador de desarrollo regional, proporcionando mejores condiciones de vida a la población local, pero también es uno de los grandes proveedores de impactos negativos al medio ambiente.

Éste área presenta un elevado potencial mineral, con ocurrencias de yeso de excelente cualidad, presentando ausencia de anidrita e bajas cuantidades de residuos insolubles que posibilita un futuro aumento de la explotaciones en esta área.

El presente trabajo fue elaborado a partir del planeamiento de una explotación minera a cielo abierto (Open pit) a través de modelamento geológico de una yacida de yeso, utilizando software’s de análisis de datos para minería, de interpretación de imágenes de satélite, CAD’s y planillas electrónica de cálculo, con objetivo principal de identificar las ventajas y desventajas, a través de estudio comparativo entre el método de laboreo por Cortas, tradicionalmente utilizado por la industria minera productora de yeso en el Pólo Gesseiro del Araripe, con el método laboreo tipo descubiertas (Strip mining), que permite el vertido de estéril en el hueco al paso de la extracción mineral,

tenida aquí como alternativa tecnológica ecológicamente más adecuada a la explotación de yeso de la Cuenca Sedimentar del Araripe.

El **objetivo general** de este trabajo es comparar, desde el punto de vista económico y de los impactos ambientales, el método tradicionalmente utilizado (tipo Cortas) en la explotación de yeso en el Pólo Gesseiro do Araripe (Brasil), con el método de explotación de tipo Descubiertas (por transferencia).

Los **objetivos específicos** son: 1) enseñar que el simple hecho de cambiar la forma de explotación actualmente adoptada transformará la actividad extractiva; 2) presentar a un método de extracción alternativo viable menos impactante y 3) enseñar las posibles formas de aprovechamiento continuado del área explotada.

2 - CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 – Ubicación Geográfica y Accesos

La Cuenca Sedimentaria del Araripe está situada en el centro geográfico de la Región Nordeste de Brasil, delimitada por las coordinadas geográficas: 38º 30' la 40º 55'de longitud oeste de Greenwich y 7º 10' la 7º 50' de latitud sur, a una distancia de 500 a 800 kilómetros de ocho de las nueve capitales de la Región (Figura 01).

Figura 01- Brasil en Sudamérica y división Política de Brasil (Fuente: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010)

El área objeto de este proyecto tiene aproximadamente 219,60 hectáreas más al centro de un área total de 633,32 hectáreas requerida para pesquisa mineral. Está ubicada a 14,7 km de distancia a SW (sudoeste) de la ciudad de Araripina en la microrregión conocida como Sertão de Araripe, en el Alto Sertão del estado de Pernambuco, a 685 km de distancia de la capital Recife.

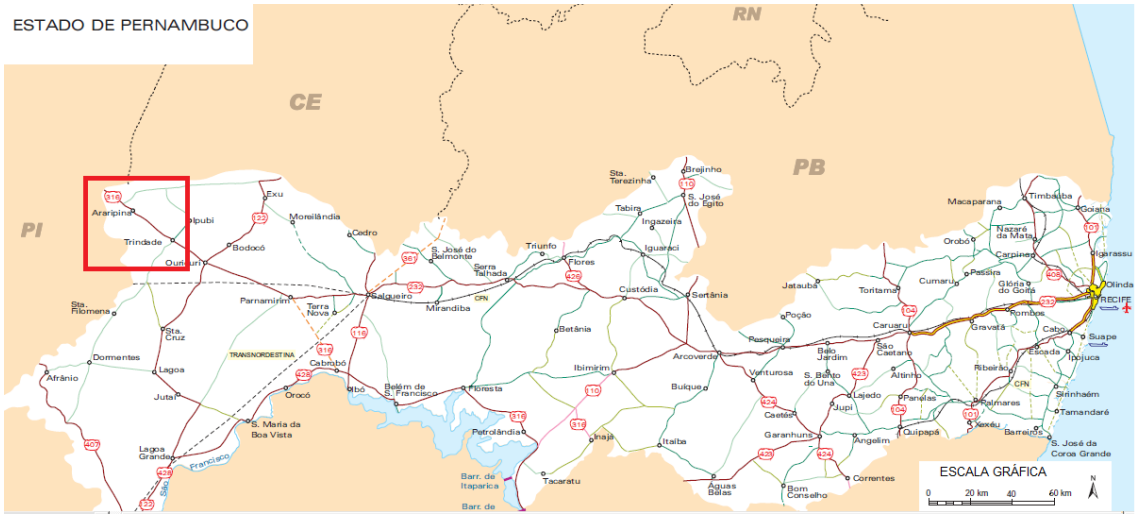

Figura 02- Estado de Pernambuco y ruta: Recife – Araripina.

El acceso hacia la ocurrencia mineral empieza por la ciudad de Araripina, a través de la autopista BR 316 hasta la bifurcación con la carretera PE 615 rumbo a la ciudad de Nascente. De ahí, por la carretera PE 615, más 5,8 km hasta el pueblo de Bom Jardim (Rancharia) y a partir de este punto, más 1,4km al SW hasta el acceso de la Granja Vira-Mão, donde se encuentra el yacimiento mineral (Figura 03).

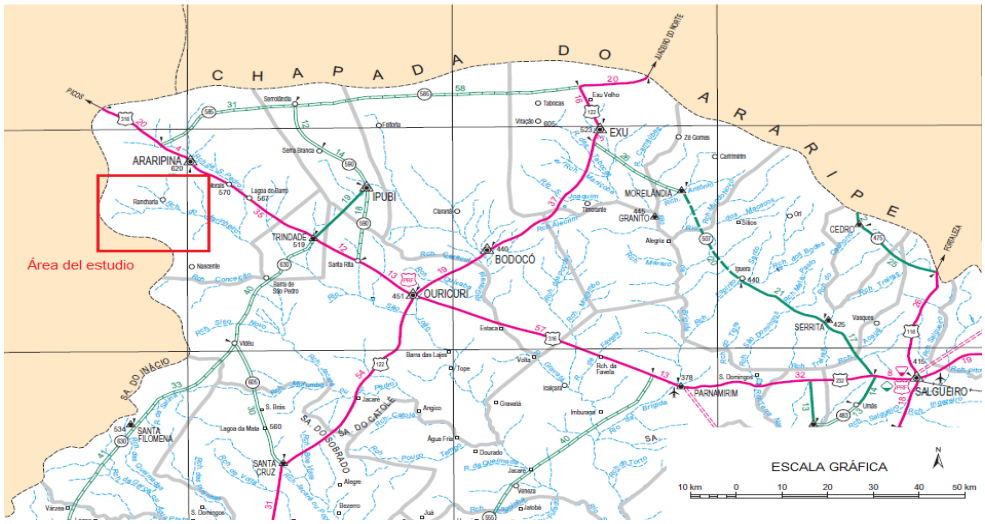

Figura 03 - Localización del área donde sitúa el cuerpo mineral – Mina Rancharia.

Las empresas responsables por las minas de yeso en el Pólo Gesseiro do Araripe, estado de Pernambuco, son de pequeño o medio porte. Sus explotaciones, a cielo abierto, suelen ser realizadas en cavas desarrolladas en más de una frente de laboreo, de modo a atender las demandas por los varios tipos de yeso exigidos pelo de mercado consumidores locales y nacionales.

Las dimensiones medias de los huecos están entorno de 355m x 208,6m x 18m, para minas menores e 538m x 185m x 18m en explotaciones de mayor tamaño, con profundidades que varían conforme la profundidad y potencia del cuerpo mineral. Las minas más desarrolladas presentan volúmenes aproximados de 1,8 x $10^6 m^3$.

2.2– Aspectos Fisiológicos

El medio ambiente de Caatinga es el principal ecosistema existente en la Región Nordeste de Brasil. Extendiendo por un dominio de climas semiáridos tiene un área de 73.683.649 ha, el 12% del territorio nacional; con presencia en los estados de Bahia, Ceará, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe, Alagoas, Maranhão e parte de Minas Gerais como puede ser visto en la Figura 04 (Moraes, 2010).

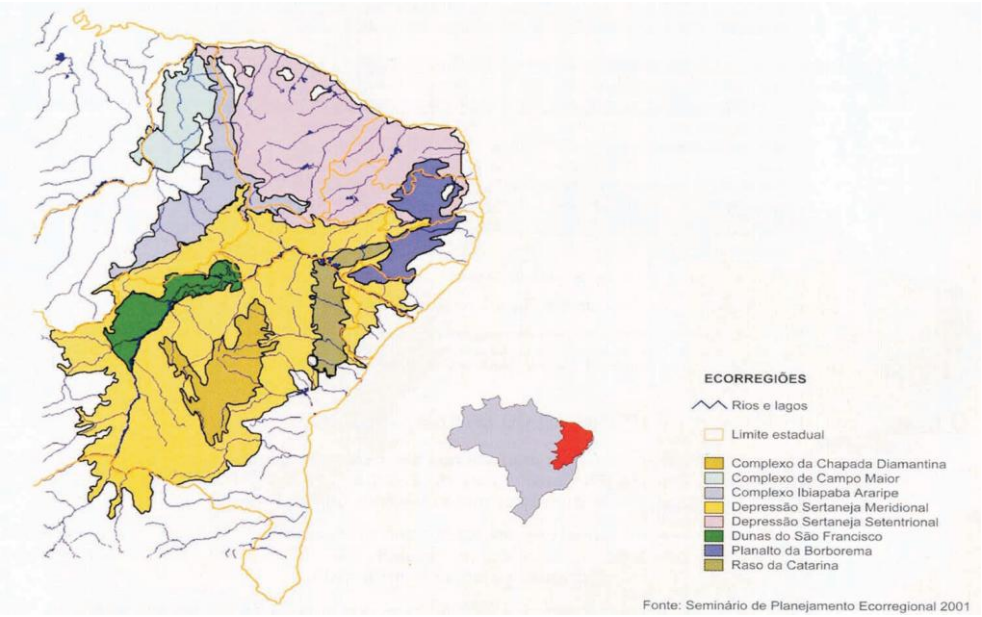

Figura 04- Ubicación del ecosistema de Caatinga en el territorio brasileño (Fuente CPRM, 2010).

El termo Caatinga es originario del tupi-guaraní, lengua habla por los indios de esta Región y significa mata blanca por el aspecto blanco de su vegetación. Es exclusivo de Brasil y está ubicado en área de clima semiárido, presenta grande variedad de paisajes, relativa riqueza biológica y endemismo. La diversidad de especies es menor,

cuando comparado a otras biotas brasileñas como la Mata Atlántica y la Amazonia (Moraes, 2010).

La Caatinga es probablemente el ecosistema más amenazado y transformado por la acción humana en Brasil. El clima semiárido y su suelo predominantemente arcilloso y seco son los elementos que tornan este ecosistema muy vulnerable a procesos de degradación con fuerte tendencia a desertificación (IBAMA, 2010).

2.2.1 - Clima

El clima de esta región es caliente con prolongadas periodos de secas y régimen de lluvias que influencian directamente la vida animal y vegetal. Clasificado como semiárido, con dos estaciones bien distintas; una lluviosa, entre los meses de diciembre e febrero, con índices pluviométricos considerados bajos alrededor de 650 a 900 mm en que ocurre case el 90% de las precipitaciones esperadas para el año; y entre los meses de marzo y noviembre, la estación seca, en que hay una reducción considerable de las precipitaciones, que pueden llegar a solamente 300 mm en los años secos, interfiriendo directamente sobre la hidrología de la región (Araújo, 2004).

Las temperaturas medias en esta región son altas, entorno de los 26ºC, con poca variación. Todavía, en puntos de relevo más elevados e/o por variación en los niveles de insolación, se puede verificar una mayor diferencia y menores valores de temperatura, ocurriendo máximas entorno de 35º C e mínima en 21º C. Además de estas condiciones climáticas, la región encontrase sometida a fuertes vientos secos, que contribuyen para caracterízala como de clima semiárido (Nascimento, 2007).

2.2.2 - Suelos

De forma general, el suelo es poco profundo, rico en minerales y pobre en materia orgánica, que tiene su descomposición perjudicada por el clima caliente y seco con elevado índice de luminosidad. Son comunes los Fragmentos de rocas en la superficie dando al suelo aspecto pedregoso. Este tipo de suelo dificulta la absorción y el almacenaje del agua (Moraes, 2010).

Se puede clasificarlo en tres tipos distintos predominantes: *Latosuelo*, oriundo del período cretáceo es rico en fóseles, *Bruno no Calcáreo* y *Podzólico Eutrófico* cuya

textura general es constituida de material arcilloso con fase pedregosa (Nascimento, 2007).

El tipo *Latosuelo rojo-Amarillo*, son suelos minerales, no hidromorficos, comúnmente profundos, drenados, con buena porosidad, arcilloso a muy arcilloso, mientras que del tipo *Massapé,* es un suelo también arcilloso, formado por la alteración del calcáreo. Localmente presenta colores entre el marrón y rojo. Hay sumideros en forma de aberturas en el suelo con máximo 1 metro en locales de aparente estabilidad. Cuando húmido, se muestra muy plástico, mientras que cuando seco adopta dureza elevada (Nascimento, 2007).

El tipo de suelo de la Caatinga es considerado muy frágil, incapaz de reestructurarse naturalmente caso ocurra alguna alteración en larga escala, como en el caso de uso de maquinaria, siendo su degradación irreversible (IBAMA, 2010).

2.2.3 – Hidrografía y hidrogeología

Segundo Araújo, 2004, la chapada del Araripe actúa como a un grande divisor de aguas que suministran las varias Cuencas hidrográficas de los ríos Brígida, Garças y Terra Nova que sirven por su vez, a las tres grandes Cuencas de la Región: São Francisco, Parnaíba y Jaguaribe.

En el período de lluvias, inicio del año, los ríos regionales, la mayoría de régimen temporario, resurgen y reasumiendo el curso durante estos meses des de las nacientes hasta la mar o incrementando el caudal de los ríos São Francisco, Parnaíba y Jaguaribe, que mantienen su flujo permanentes a través de interior del Nordeste, con aguas traídas de otras Regiones del País (Nascimento, 2007).

Hay poco contenido teórico disponible respecto a hidrogeología de la región occidental de la Cuenca del Araripe, más precisamente en la zona donde está ubicada el área en estudio en este proyecto. Pero es corriente que los acuíferos locales ofrecen condiciones de suministrar agua para consumo humano, animal o para actividades agrícolas o industriales están a profundidades entre 400 y 900m y pueden alcanzar caudales significativas. Tales datos han sido confirmados por profesionales del área en visita de campo realizada para el proyecto piloto.

2.2.4 – Flora y Fauna

Según el Instituto Brasileiro para o Meio Ambiente – IBAMA (2010), la flora de la Caatinga es dominada por tipos de vegetación con características xerofíticas, formaciones vegetales secas, que componen un paisaje cálida y espinosa con estratos compuestos por gramíneas, arbustos y árboles de porte bajo o mediano (3 a 7 metros de altura), caducifolias (hojas que caen), con gran cantidad de plantas espinosas (ejemplo: leguminosas), y otras especies como las cactáceas y las bromeliáceas.

Nascimento (2007) citando Queiroz (2004), clasifica la vegetación nativa de caatinga de forma general en tres grupos distintos:

1. **Bosques Subcaducifolia Tropical Xeromorfa:** Representa la mayor parte de la vegetación de la región, su ocurrencia se da sobre a Chapada de Araripe, entre 500 a 800 m de altura, representada por típica bosque tropical, de pequeño a mediano porte, con elevada densidad. Se destaca el angelín (Lonhocarpos araripensis), el piqui (Caryocar coriaceum), el palo-santo (Kielmeyera coriacea), la faveira (Parkia platycephala);
2. **Bosque Subcaducifolia Tropical Pluvial**: Es encontrada en las vertientes y pequeñas elevaciones, abarcando especímenes de la caatinga arbórea y de mata húmeda como la aroeira (Astrnium urundeuva), el angico (Anadebantheira macrocarpa) y la tapioca (Trichilia sp.);
3. **Bosque Caducifolia**: Está representada por la caatinga arbórea, con árboles de pequeño porte y especímenes del tipo: mucumbu-da-serra (Cobretun sp) y bananinha (Rollinia sp.) y por la caatinga arbustiva con especímenes de menor porte, de ramas ramificados como la jurema (Mimosa hostile), el marmeleiro (Croton rincorensis), el mandacaru (Cereus jamacaru) y la uña de gato (Acacia paniculata Willd).

Dos características importantes de la vegetación de esta biota son, la caída de las hojas en situaciones de seca que tiene la función de reducir la perdida de agua por transpiración y sistemas de raíces bien desarrollados que incrementan la capacidad de obtener agua del suelo. Con la llegada del período lluvias (verano), las lagunas e ríos reaparecen y la vegetación retoma a su color verde (Ambientebrasil, 2010).

En esta biota son conocidos 44 especies de lagartos, 9 especies de anfisbénidos, 47 de serpientes, 4 de quelonios, 3 de cocolía, 47 de anfibios además de otras especies de animales, como el tatu-peba, macaco prego, el veado-catingueiro, y el sagüim-do-nordeste, entre otros. De estas especies apenas el 15% son endémicas de la Caatinga, en un conjunto de 15 especies y 45 subespecies. 20 se encuentran amenazadas de extinción como el gato-do-mato, la jararacá, la sucuri-bico-de-jaca y la ararinha-azul (*Cyanopsitta spixii*) y la arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*), las dos últimas, algunas de las aves más amenazadas del mundo. Hay aún un grande número de aves de diversos tipos, algunas endémicas del Nordeste, como el caso del chupa-dente, el fígado y la asa-branca (Ambientebrasil, 2010).

Aún es precaria la situación de conservación de los peces. Sólo hay conocimiento de cuatro especies que ocurren en este ecosistema, preliminarmente listadas como amenazadas de extinción, sin embargo se debe ponderar que gran parte de la fauna de esta región aún no hay sido evaluada (IBAMA, 2010).

Aún de acuerdo con el IBAMA, la fauna de la Caatinga sufre gran perjuicios tanto a causa de la pérdida de hábitat como también en razón de la caza y pesca y a lo que se refiere a la explotación de los recursos forestales.

La Caatinga presenta grandes áreas degradadas, algunas en estado avanzado de desertificación. Este ecosistema encontrase bastante alterado por la sustitución/destrucción de especies vegetales nativas por la actividad agropecuaria y las quemadas, que todavía aún son prácticas corrientes en el preparo de la tierra, que perjudica el mantenimiento de fauna nativa, la cualidad del agua, e equilibrio del clima y del suelo. Aproximadamente el 80% de este ecosistema esta alterado (IBAMA, 2010).

2.2.5 – Geología regional

En Brasil, las reservas que presentan mejores condiciones de aprovechamiento económico están situadas al Semiárido brasileño, más precisamente en la cueca del Araripe, región limítrofe de los estados de Piauí, Ceará y Pernambuco, con destaque para este último, donde está implantado el Pólo Gesseiro do Araripe (Figura 05). Los principales depósitos están en el estado de Pernambuco, siendo las reservas medidas de

orden de 290.000.000 toneladas distribuidas, en orden decreciente, en los municipios de Ipubi, Araripina, Trindade, Ouricuri e Bodocó (Brasil, 2006; Sobrinho *et al*, 2006).

Figura 05- Depósitos sedimentarias de yeso en Brasil. Fuente: tkgeo.blogspot.com

La Cuenca Sedimentar del Araripe a la cual pertenecen las Formaciones Santana y Carirí ricas en yeso está localizada en la Macrorregión denominada Alto Sertão Nordestino, englobando partes de los estados de Bahia, Pernambuco, Ceará e Piauí, por un área de 11.000 km² (AD Diper, 2010).

2.2.6 – Geología local

En la región donde se encuentra el área en estudio, el basamento cristalino es compuesto por dos secuencias distintas en que hay predominancia de roca esquistosa y una mayor presencia de migmatitos homogéneos y heteróclitos. Las capas que forman la roca sedimentar se sitúan sobre el basamento cristalino de la Formación Carirí y componen la Formación Santana y Exú (Portela, 2008). Ya las acumulaciones de yeso se encuentran depositadas en capas discontinuas que ocurren en los Miembros Crato (inferior), con sus calizas fosilíferas de considerable valor paleontológico por la diversidad y estado de preservación de su contenido en fósil, Romualdo (superior) y principalmente en el Miembro Ipubí (intermediario), todos componentes de la Formación Santana de espesor promedio de 250 m. (Portela, 2008; Brasil, 2006; Sobrinho *et al*, 2006; Parahyba et al, 2009).

La Formación Santana, que es la más explotada, tiene su origen en el Cretáceo, un ambiente marino/lacustre, presentando yeso de alta calidad depositado en yacimientos de hasta 32 m de espesor, a profundidades máximas de 30 m, ideales para la exploración minera. Tales depósitos normalmente presentan una sedimentación con secuencia estratificada, semi-horizontal, formada por limonitas, limonitas arcillosas, margas, areniscas, calizas laminadas y lulitas bituminosas en parte carbonatada o con presencia de fósiles (Araújo, 2004). Esta formación está clasificada en tres fases de desarrollo, a saber:

- La primera caracterizada por capas finas compuestas de calizas arcillosas y limonitas, con estratificaciones lamines oriundas de un depósito lacustre de agua dulce.
- La segunda está formada por capas de yeso y de calizas fosilíferas formadas bajo condiciones lacustre de agua de mar con posterior evaporación, característico de clima árido.
- La tercera es compuesta de capas arcillosas y limonitas, depositadas bajo condiciones de clima húmedo, con rápida perdida de la sal hasta la fase lacustre final.

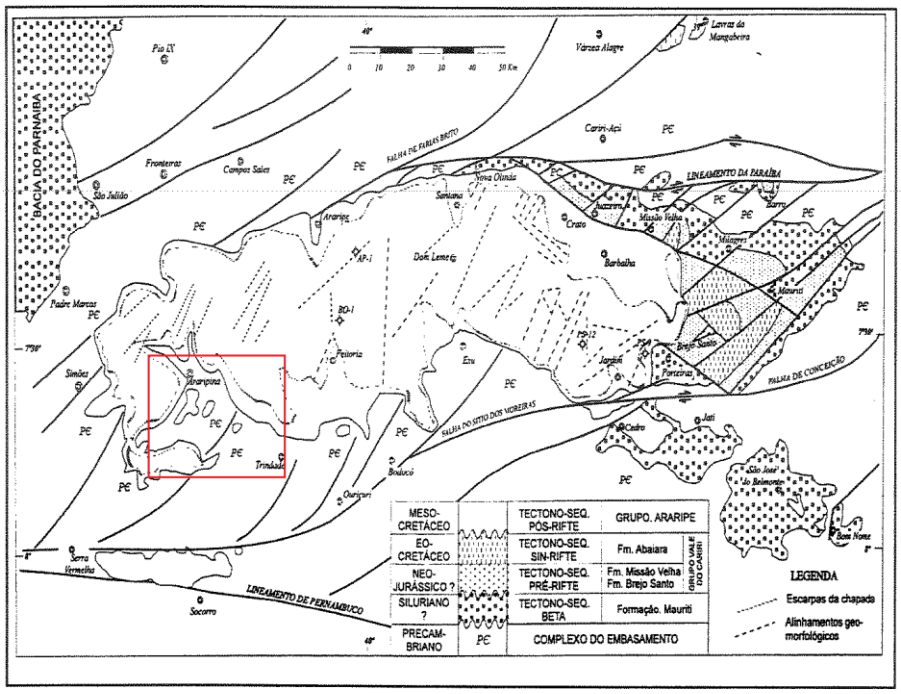

Figura 06 - Mapa geológico simplificado de la Cuenca del Araripe. Fuente: Araújo, 2004. Compilado de DNPM, 1996b

Secundo Nascimento (2007), el yeso en la región objeto del estudio suele ocurrir a profundidades de 30 m, en forma de cuerpos lenticulares con espesor máximo de 30m a bajo de la Formación Santana (Figura 07) y sobrepuesta a una capa de calizas y/o lulitas bituminosa. Encontrase recubierto generalmente por arcilla arenosa, arcilla amarilla y arcilla gris-verde presentando normalmente estructura granular en mosaico.

Figura 07 – Foto del talud del cuerpo mineral y material del cubrimiento (autoría propia).

2.3 – El yeso del Araripe

El sulfato de calcio dihidratado ($CaSO_4.2H_2O$) o yeso, es un mineral compuesto de un 47% de SO_4, un 32% de CaO y un 21% del H_2O. Su dureza es considera baja que varía entre 1,5 y 3 en la escala de Mohr, hábito prismático, laminar para tabular, densidad relativa de 2,32 y cristalografía monoclínico. Su origen se debe principalmente a los procesos de evaporación del agua en depósitos sedimentares o como producto de la hidratación de la anhidrita ($CaSO_4$) (Dana, 1976).

El yeso de la región recibe varias denominaciones de acuerdo con su apariencia y/o pureza: cocadinha, rapadura, anidrita, alabastro, estrelinha y Johnson. Suelen presentar, además de la anhidrita, contaminantes, tales como arcilla, sílice, carbonato de calcio y magnesio, cloruros y otros sulfatos. Sus principales variedades son el *espato acetinado* de textura fibrosa y brillo sedoso, el *alabastro*, macizo y transparente,

utilizado en la fabricación de esculturas y la *selenita* que muestra cristales con clivajes anchas, incoloro y transparente (Dana, 1976).

En general, está asociado a las lulitas pirobituminosas lenticulares, calcáreos, margas y areniscas conglomeradas en intervalos evaporíticos que corresponde al Miembro Ipubi de la Formación Santana (Nascimento, 2007).

Económicamente es aprovechado tanto en su forma natural, para uso agrícola y industria del cemento, como después del proceso de calcinación donde pierde un 75% del agua de cristalización, convirtiéndose en sulfato semidratado de calcio ($CaSO_4.½H_2O$), conocido también como yeso, bastante utilizado en el segmento médico-hospitalero y en la construcción civil. Mesclado con agua transformase en una pasta moldeable antes de endurecer, adquiriendo así resistencia mecánica considerable y ligero (Macêdo Filho & Pena Botelho, 2009).

3 – ASPECTOS ECONÓMICOS

3.1 – Panorama mundial

Mundialmente, los EE UU mantuvieron el liderazgo de la producción de yeso en 2007, con su producción alcanzando 22 millones de toneladas de esta mena, seguido de lejos por España, con 13,2 millones y por Irán, con 13 millones. Sin embargo, la China es hoy el mayor productor y consumidor mundial de éste bien mineral. La principal industria consumidora de yeso actualmente es a del cemento, que absorbe mayor parte de lo que es extraído en los países en desarrollo, mientras que en los países desarrollados la producción de yeso y derivados se presenta como la mayor responsable por la demanda de ese bien mineral (Brasil, 2008).

Según el informe del Ayala Carcedo & Vandillo - IBGM, la producción de yeso en la Unión Europea en 2007 fue alrededor de 30 Mt, el 20% del de todo lo que fue producido mundialmente, generando una facturación de las más de 3.000 M€ en yeso y anhidrita producidos por las 220 fábricas existentes en Europa, siendo el sector responsables por 400.000 empleos directo e indirecto. La demanda de yeso en Europa presenta grandes diferencias de unos países a otros en posibilidades de crecimiento. Alemania es el mayor mercado de paneles de escayola de la Comunidad, pero la

demanda sigue disminuyendo. Reino Unido y Francia son importantes mercados de este material, sin embargo los países mediterráneos presentan niveles de consumo relativamente bajos.

3.2 – Cadena productiva en Brasil

Conforme datos del Sumário Mineral Brasileiro de 2008, publicadas por el, Departamento Nacional de Produção Mineral de Brasil - DNPM, el Estado de Pernambuco es líder en Brasil en la producción de este tipo de roca industrial con cerca de un 95% de la producción nacional (1.711.671 ton.), con los Estados de Maranhão cómo segundo productor 5,5% (106.161 ton.), seguido por Ceará con 3,5% (68.233 ton.), Amazonas, 1,6% (30.000 ton.) y Tocantins (7.054 ton. – 1%) (Brasil, 2008). La tabla 01 muestra las estadísticas de la producción de yeso en Brasil 2005-2007.

Tabla 01- estadísticas de producción de yeso en Brasil 2005-2007 (Fuente: DNPM-Brasil, 2008).

Discriminación			2005(r)	2006(r)	2007(p)
Producción	Yeso (ROM)	(t)	1.582.248	1.711.671	1.923.119
	Yeso	(t)	731.921	881.052	907.178
	Fosfoyeso	(t)	8.216.000	...	...
Importaciones	Yeso + manufacturados	(t)	3.055	1.899	16.883
		(10^3 US$-CIF)	1.233	1.455	4.277
Exportaciones	Yeso + manufacturados	(t)	16.436	37.752	17.382
		(10^3 US$-FOB)	3.072	8.882	3.777
Consumo aparente	Yeso + manufacturados	(t)	1.568.867	1.701.367	1.922.620
Precio	Yeso (ROM)	Euros/t	5,00	5,79	5,27

La cadena productiva del yeso en el Pólo Gesseiro del Araripe engloba una vasta red formada por empresas de micro, pequeño y de medio porte que generan alrededor de 13.200 empleos directos y aproximadamente 66.000 indirectos en los estados de Pernambuco, Ceará, Piauí y Bahia (Brasil, 2008).

El Pólo Gesseiro do Araripe es formado por industrias de minería, tratamiento y transformación del yeso, empresas de construcción civil, empresas de comercialización, distribución de yeso y productos derivados, además de sectores de apoyo a la producción mineral tales como: maquinaria y herramientas, fabricantes de explosivos, transportadoras, talleres mecánicas, hoteles, industria química e envases (Brasil, 2008).

El yeso es el principal bien mineral explotado por la industria del sector en el Semiárido pernambucano. Es el responsable del 52,3% de todo el valor de la producción regional mineral, concentrada sobre todo en los municipios de Ouricuri, Ipubi, Araripina y Trindade conforme datos suministrados por el Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. Pero, el Anuário Mineral Brasileiro publicado en 2006, informa que las reservas medidas, indicadas, inferidas y explotables de yeso están destruidas como enseña la Tabla 02.

Tabla 02 – Reservas de yeso región del Polo Gesseiro del Araripe, Fuente: DNPM-Brasil, 2006.

SUBSTÁNCIA	RESERVAS (t)			
	MEDIDA	INDICADA	INFERIDA	EXPLOTABLE
YESO	289.623.675	109.034.651	109.173.648	192.883.812

Para una definición más precisa, reserva mineral es la que parte del recurso que se ha demostrado analíticamente que su extracción es rentable, que justifica su explotación, teniendo en cuenta las operaciones de explotación, el proceso metalúrgico, la comercialización, los aspectos legales, ambientales, sociales, económicos y de otras índoles aplicables. Una Reserva estimada incluye la determinación en toneladas y el grado de certidumbre (comprobada, probable o posible) (de la Vergne, 2000).

La Figura 08 presenta de forma sencilla la distribución porcentual de las reservas medidas de yeso entre los Estados en el año de 2008.

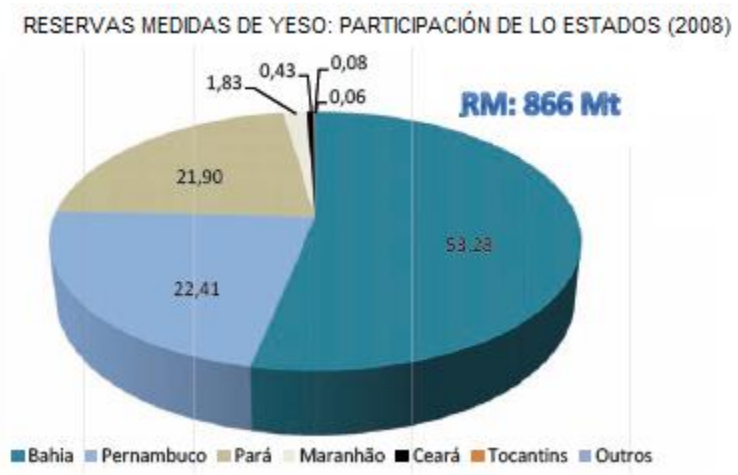

Figura 08. Reservas nacionales de yeso (Fuente: DNPM-Brasil, 2009)

3.3 – Sector económico

Con un valor de producción de case €11 millones (cambio de 29/04/10) ganancias anual alrededor de €226 millones/año segundo el DNPM, el Pólo Gesseiro cuenta con 42 minas de yeso, 139 industrias de calcinación y 726 industrias de prefabricados. Pernambuco, específicamente, posee una reserva estimada en 1,22 mil millones de toneladas de yeso con calidad para producir yeso de alta ley de pureza. Eso vuelve sus reservas una de las más expresivas y importantes del mundo con capacidad prevista de explotación para más de 600 años (Brasil, 2008).

La producción pernambucana de yeso en 2008 fue de 5,5 millones de toneladas, según el Sindicato das Industrias do Pólo Gesseiro - Sindusgesso, donde un porcentual de 61% es destinado a la fabricación de bloques y placas de yeso, 35% para revestimiento, 3% para moldes cerámicos y 1% para otros usos. Todavía de acuerdo con el Sindusgesso, el Polo produce aproximadamente 800 mil toneladas de yeso usado por la industria de cemento y 200 mil toneladas de yeso destinados a agrícola, cada vez más valorado(Brasil, 2009). La Figura 09 muestra el valor de la producción (en Euros) de los más importantes bienes minerales explotados en la región semiárida de Pernambuco en el trienio 2005-2007.

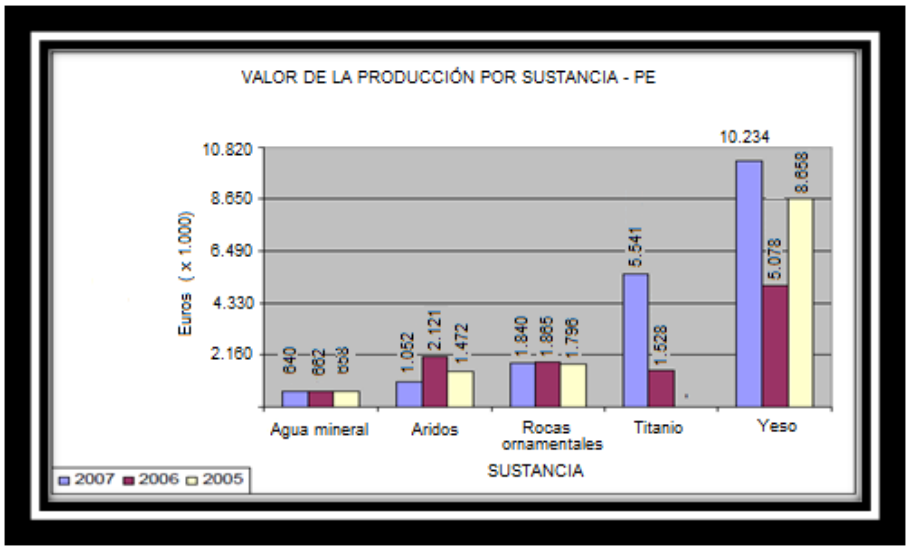

Figura 09 – Gráfico de relación entre el valor (en Euros) de la producción por sustancia. Fuente: DIDEM-DNPM, 2008 (Brasil, 2009).

El Producto Interior Bruto (PIB) de los municipios pernambucanos situados en el Polo Gesseiro de Araripe representa hoy sólo 1,6% del PIB del Estado, una participación considerada todavía poco expresiva en términos de producción de bienes y servicios (addiper.pe.gov.br, 2010).

Por lo que se refiere a la capacidad de generar empleo el sector minero de explotación y tratamiento del yeso es responsable por generar 973 empleos directos y cerca de 60.000 empleos indirectos en los sectores de apoyo a la minería, un excedente de 20% ocurrido en el trienio 2005-2007, siendo los municipios Araripina (20%), Ipubi (16,7%), Ouricuri (8,6%) y Trindade (8,4%). La Figura 09 presenta datos sobre la capacidad de empleo de las empresas de minería en la región del Semiárido pernambucano. En la Figura 10 se puede ver la distribución del empleo de acuerdo con el bien mineral explotado en esta región (Brasil, 2008).

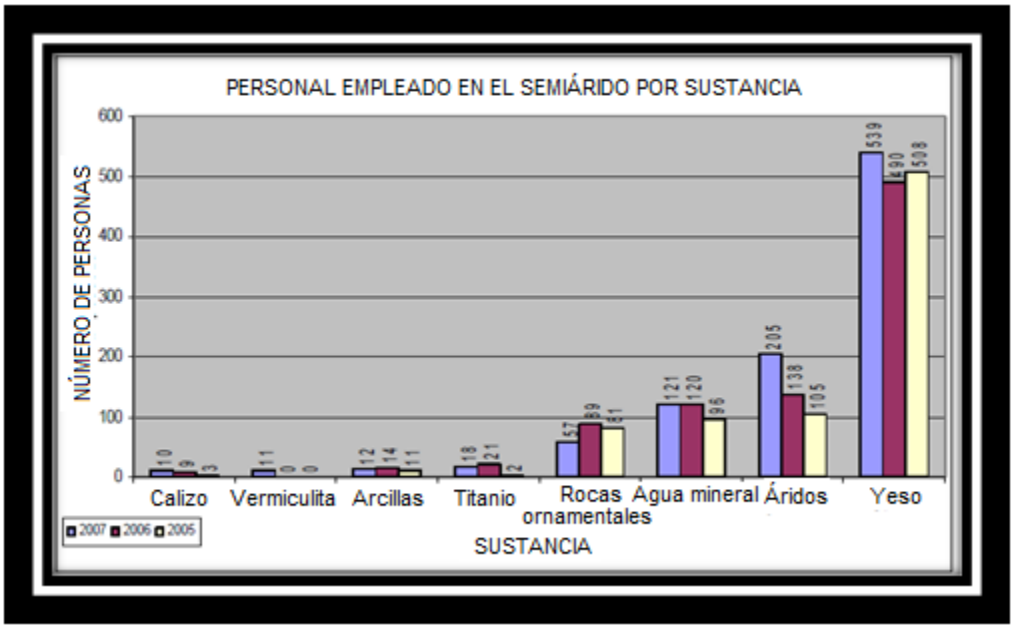

Figura 10 - Distribución del empleo de acuerdo con el mineral explotado en el Sertão de Pernambuco. Fuente: DIDEM-DNPM, 2008 (Brasil, 2009)

Estudios recientes desarrollados por el DNPM, indican que la falta de una infraestructura más adecuada a las necesidades de crecimiento económico para región, tales como: fuentes energéticas alternativas que substituyan la leña en las calcinadoras; vías de transporte (terrestres y fluviales) más eficientes que posibiliten el flujo de la producción, además de *restricciones ambientales* impuestas a las mineras, están estancando el desarrollo del Polo. Otro factor relevante en el panorama económico,

levantado por estudios recientes, es el exceso en la oferta de yeso en el Polo Gesseiro de Araripe que está provocando la disminución de los precios y consecuente reducción en las actividades de laboreo. Proyectos como el del ferrocarril Transnordestina y la construcción del gaseoducto que llevará gas natural del puerto de Suape/PE hasta la región del semiárido son alternativas para el desarrollo local (Brasil, 2008).

Según el Departamento Nacional de Produção Mineral de Brasil, las reservas medidas y explotables, con aproximadamente 300 millones de toneladas y 192 millones de toneladas respectivamente, pone el Polo como una región de grande potencial exploratorio, haya vista también el aumento en el consumo nacional de derivados de la yeso además del crecimiento en las exportaciones de estos productos para países tenidos como grandes consumidores de yeso como China y EE UU (Brasil 2008).

3.4 – Aspectos socio-culturales

De acuerdo con la Agência de Desenvolvimento Econômico de Pernambuco - AD-Diper, 295 mil personas (3,5% de la población de Pernambuco) viven actualmente en el Sertão de Araripe, donde las principales actividades productivas están relacionadas a la extracción y industria de tratamiento de mineral, la monocultura agrícola, pecuaria y derivados de la leche, siendo éstos los mayores responsables por generar empleo en la región. El porcentaje de viviendas con suministro inadecuado de agua en esta región es de 53,6%, lo peor entre las Regiones de Desarrollo-RD y muy por encima de la de Pernambuco que es de 17,0%. Aún se destacan el índice de analfabetismo de esta RD que es el 37,9% está muy por encima del Estado (24,5%) y el segundo más alto entre las RD's.

Considerando datos de otro órgano de gobierno del Estado, la Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – Condepe-Fiden, observan problemas tales como la deposición inadecuada los residuos sólidos domésticos, sistemas de saneamiento básico deficitarios con ausencia de tratamiento de aguas residuales, además la poca oferta de servicios de salud. Su PIB por habitante esta alrededor de 950,00 euros, con índice de desarrollo humano IDH de 0,620, abajo del 0,813, que es la media nacional, significando una falla estructural en el proceso de desarrollo del país. Estos indicadores reflejan directamente en las malas condiciones de vida de la población local (condepefidem.pe.gov.br, 2010).

La falta de infraestructura urbana adecuada de las ciudades ubicadas en la región del Pólo Gesseiro del Araripe es uno de los limitadores del desarrollo económico y por lo tanto minero.

4 – METODOLOGIA APLICADA

Este trabajo está dividido en dos partes de estudio subdivididas en etapas de acuerdo con las necesidades de información de cada una.

La primera parte, está basada en un plan de aprovechamiento económico de un yacimiento mineral de yeso por vía de un proyecto piloto empezado en Brasil, que tuvo como reto principal comparar el método de explotación por cortas (hoy adoptado por las empresas de minería del Pólo Gesseiro del Araripe) con uno de los métodos de desarrollo de minas por transferencia (descubiertas), presentando las ventajas y desventajas de cada uno des del punto de vista técnico-económico.

Cómo punto de partida del estudio han sido utilizadas herramientas computacionales, tales como DATAMINE (para análisis de los datos geológicos y proyección del Pit), Auto CAD (para representación topográfica del terreno) y Excel (para introducir datos de sondeo). A partir de ahí, se desarrollaron los planes de aprovechamiento del yacimiento, comparados al término de esta parte de estudio. También tuvieron lugar en esta parte los trabajos de campo, análisis de mercado consumidor, infraestructura existente y el proceso productivo de la mina.

Sin embargo, la primera parte no considera a los efectos de los impactos ambientales generados por cada tipo de método de explotación. No evalúa a los efectos en el desempeño financiero de la empresa (pasivo ambiental), tampoco plantea la posibilidad del uso continuado del área después del cerré de la mina.

Por lo tanto, la segunda etapa del proyecto consistió en la investigación teórica acerca de las tecnologías de exploración sostenible de los recursos naturales experimentados en Europa, más específicamente en España, donde la aplicación de tecnologías limpias y la práctica de restauración/rehabilitación de espacios degradados por las actividades antrópicas son habituales y reglamentadas por leyes, decretos y normas que sirven de referencia al desarrollo de marcos regulatorios en otros países.

De acuerdo con el Ayala Carcedo & Vandillo (2004), la adopción de este tipo de explotación genera las siguientes ventajas en relación a:

- los impactos ambientales son: menor riesgo de movimiento de tierra por la disminución de carga sobre pila; reducción de la acción erosiva y menor capacidad de sedimentación de ríos y lagunas; reducción del área deforestada y disminución de la emisión de polvo; mayor disponibilidad de sitios para ubicación de la escombrara y educción de costes con transporte del material estéril;
- recuperación de áreas degradadas son: resulta sencilla; durante la vida útil de la mina y relleno y remodelado total o parcial, con material estéril.

Todos estos hecho tienen su reflejo en el sector financiero de la Empresa, pues afectan directamente su pasivo/activo ambiental.

4.1 – Mapa Conceptual

La Figura 11 muestra el mapa conceptual a seguir describe el estudio de forma esquemática, dividiéndolo en sus dos partes de desarrollo.

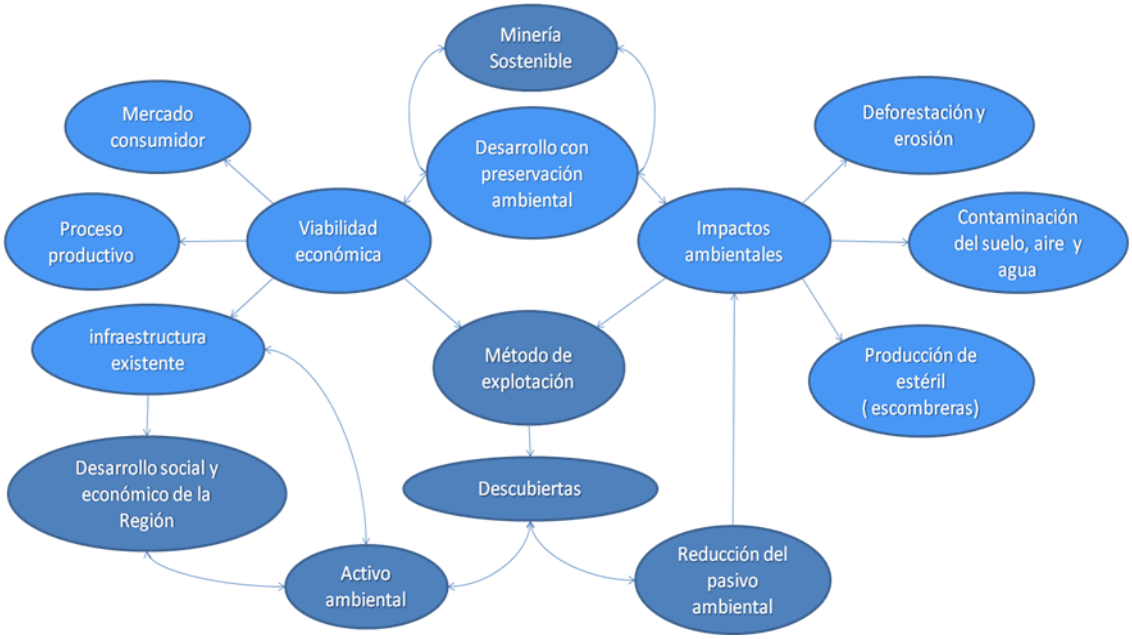

Figura 11. - Mapa conceptual para el planeamiento del estudio (Autoría propia).

La reducción del volumen de los montones que constituyen las escombreras es el punto clave de esta parte del estudio. El método (por descubiertas) propuesto aquí como alternativa sostenible para la extracción de yeso en el Pólo Gesseiro del Araripe, posibilita el vertido del material sacado de la capa de estéril en el hueco producido en las fases anteriores de laboreo.

4.2 – Etapas del Estudio

Cómo mencionado anteriormente, la primera parte del presente estudio está basada en un proyecto piloto empezado en Brasil, en el cual se hizo: 1) una investigación bibliográfica acerca de la infraestructura local, las características de la industria minera instalada en el Pólo Gesseiro do Araripe y los métodos de laboreo por Cortas y por Descubiertas (Strip Mining) aplicables de acuerdo con la geomorfología de la Región; 2) trabajos de investigación geológica (sondeos, análisis, químicas y topográfica) que sirvieron para la modelización geológica de la yacida de yeso y 3) todos los cálculos de viabilidad económica de la mina.

En la segunda parte del estudio, se desarrollan las etapas de investigación teórica con respecto a las tecnologías experimentada en Europa y más precisamente en España, en lo que toca a la explotación sostenible de los recursos naturales.

Se dará mayor realce a los problemas generados por la deposición de los residuos mineros en la superficie (las escombreras), y sus principales impactos ambientales durante el periodo de actividad y posteriormente al cierre de la mina, así como a las medidas correctoras y costos referentes. También se hará en esta parte un del estudio acerca del papel de la minería en la región sobre el impacto ambiental ejercido en el biota de Caatinga tras análisis de imagen de satélite.

5 – PROYECTO PILOTO - ESTUDIOS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

5.1 – Metodología para el cálculo de volumen del yacimiento

Los proyectos de ingeniería de minas son generalmente ejecutados a partir de los datos geológicos y geotécnicos originados de los trabajos de investigación de campo que permiten una definición satisfactoria de las características geológicas y geo-estructurales del depósito mineral. Sin embargo, la definición de un modelo

tridimensional del yacimiento que contenga las informaciones obtenidas de los trabajos de investigación de campo, tales como la composición litológica y propiedades mecánicas de los materiales, posibilite una descripción más a menudo del mismo, es de fundamental importancia en la elaboración de un proyecto de aprovechamiento económico minero.

El cálculo de volúmenes de sólidos con dimensiones regulares suelen hacerse mediante ecuaciones matemáticas en mayoría sencillas, mientras que el cálculo de volúmenes de sólidos irregulares, tales como depósitos de minerales, se hacen a través de modelos de cálculo capaz de proveer volúmenes estimados aproximados al encontrado en el subsuelo, como por ejemplo el modelo de bloques.

El método para el cálculo de volumen por modelo de bloques consiste en la confección de uno "bloque virtual" patrón, representativo del cuerpo a ser representado, con dimensiones (anchura, altura y longitud) fraccionarias basadas en la geometría del cuerpo de mena. Así, el yacimiento es subdividido en varios bloques capaces de contener informaciones sobre el tenor de la mena y su profundidad por interpolación de dados a través de técnicas geoestatísticas de estimación basadas en el estudio de la variabilidad espacial del cuerpo de mena. Cuanto mayor sea el número de bloques, mayor será la precisión del resultado.

5.1.1 – Herramientas de apoyo.

De acuerdo con Germani (2002), la planificación operacional es uno de los grandes diferenciales en las explotaciones mineras en Brasil. Las Empresas de grande y medio porte disponen de herramientas informatizadas para la planificación de las actividades de laboreo, teniendo en cuenta el coste relativamente bajo de hardware y software específicos para tales tareas. Sin embargo, la deficiencia en lo que se refiere a los recursos humanos vuelve cara su implementación, o provoca la subutilización de estas herramientas. Estas deficiencias acaban por generar, frecuentemente, problemas endémicos de este área en los trabajos de planificación de la mina como también, pueden provocar fallos en la comunicación con las varias operación de laboreo, llevando así a las soluciones de campo. Sin embargo, hay una mejora significativa en este particular en los últimos tiempos.

Todo el estudio de planificación de la mina ha sido realizado en base a informaciones generadas por el software de modelización geológica DATAMINE Studio 2.0. La selección del software DATAMINE Studio 2.0 como herramienta de trabajo en este proyecto se debe a la facilidad de manejo de esta herramienta, variedad de comandos de operación, tanto para insertar, como para procesar, manipular y generar gráficos, datos estadísticos geológicos y de minería con rapidez y confiabilidad.

El DATAMINE Studio 2.0 ofrece una selección de funciones geoestatísticas que incluyen distancia inversa, vecino más cercano, además de métodos de interpolación de datos, como kriging, modelos de estimación y ajuste de variogramas, herramientas que permiten describir cuantitativamente la variación, en el espacio, de un fenómeno regionalizado. Los cálculos incluyen covarianza y otros parámetros.

El proceso de adaptación de un variograma interactivo permite al usuario visualizar a los semi-variogramas experimentales, así como elegir entre una amplia gama de modelos y parámetros de múltiples estructuras de anidado y anisotropía.

5.1.2 – Modelo geológico del yacimiento

Los datos de entrada para el programa DATAMINE Studio 2.0, fueron informaciones obtenidos a partir del Relatório Final de Pesquisa Mineral (Mineração Trevo, 2002), sometido al Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM en el proceso de solicitud del permiso de explotación del yacimiento, donde constan: 16 perforaciones de sondeo, profundidad de los orificios, espesor de las capas que componen el subsuelo, análisis químicos y mapa planialtimétrico del área estudiada. Estos datos, en la forma de archivos formatos .dxf (Auto-CAD) y .xls (EXCEL), generaran a los correspondientes archivos collars2.dm (conteniendo las coordenadas en 3 dimensiones de la boca de los orificios), geology.dm (con las informaciones litológicas), y topo_gip, con los datos sobre la topografía del área.

Los archivos collars2.dm y geology.dm fueron, posteriormente, combinados en el archivo orificios.dm conteniendo informaciones sobre la posición y dirección de cada orificio de sondeo, la litologia y análisis mineralógicos (drillholes), punto de partida para el modelado del cuerpo mineral (Figura 12).

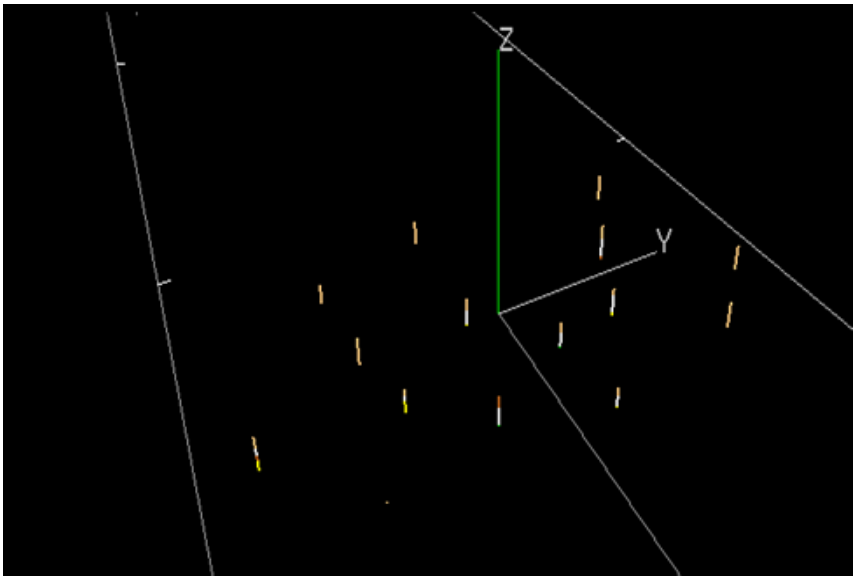

Figura 12 – Orificios de Sondeo (Drillholes). Fuente: Autoría propia

La tabla 03 muestran datos de posicionamiento de los orificios (archivo collars2.dw).

Tabla 03 – Coordenadas en metros de los orificios de sondeo.

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR
FGT-01	327711.27	9150602.11	591.67
FGT-03	327728.87	9150718.31	595.00
FGT-09	327771.13	9150781.69	597
FGT-10	327732.39	9150862.68	600
FGT-11	327725.35	9150922.54	604
FGT-12	327813.38	9150866.20	602
FGT-14	327665.49	9150802.82	597
FGT-16	327588.03	9150690.14	598
FGT-17	327661.97	9150700.70	596.50
FGT-18	327651.41	9150961.27	606
FGT-19	327792.25	9151000.00	608
FGT-21	327742.96	9151052.82	611
FGT-22	327588.03	9151000.00	610
FGT-24	327552.82	9150799.30	603
FGT-25	327809.86	9150672.54	595.00

(Fuente: Macêdo Filho, G. I. & Pena Botelho, L. J. (2009).

Los Análisis químicos de muestras minerales de superficie y los dados suministrados por trabajos de sondeo son los únicos permitidos para estimación de las leyes de reservas y recursos minerales. En la Tabla 04 aparecen algunos de los datos con respecto al cuerpo mineral obtenidos a partir de los análisis químicos de las muestras de sondeo.

Tabla 04 – Análisis químico de los orificios de sondeo

ANALISIS QUÍMICOS ORIFICIOS				
DETERMINACIONES	FGT - 03	FGT - 10	FGT – 12	FGT - 18
Humedad 45°C (%)	0,20	0,18	0,14	0,09
Perdida al fuego a 1000°C (%)	21,26	21,86	20,87	21,00
Residuo insoluble (%)	1,15	0,72	1,08	0,80
SO_3 (%)	45,08	44,02	45,60	45,70
CaO (%)	32,19	32,01	31,14	32,80
MgO (%)	0,20	1,20	0,69	0,10

(Fuente: Macêdo Filho & Pena Botelho, 2009).

En este proyecto las herramientas de modelado geoestrutural (strings y wireframes) posibilitaron, a partir de la introducción de los datos de sondeo en el DATAMINE Studio 2.0, la creación del sólido representativo del cuerpo mineral, tras la construcción de las secciones verticales del yacimiento. Las informaciones contenidas en los orificios (litología y mineralogía) sirvieron de base para creación de las strings, figuras poligonales utilizadas para delimitar a los cuerpos geológicos, separándolos según la litologia. Tales strings también sirven de base para generación de wireframes (Figura 13), una malla triangular responsable por da configuración final al cuerpo (sólido geométrico) y que, después puede ser combinada al modelo de bloques, viabilizando el cálculo del volumen de yeso y estéril presente el yacimiento como se puede ver en la Figura 14.

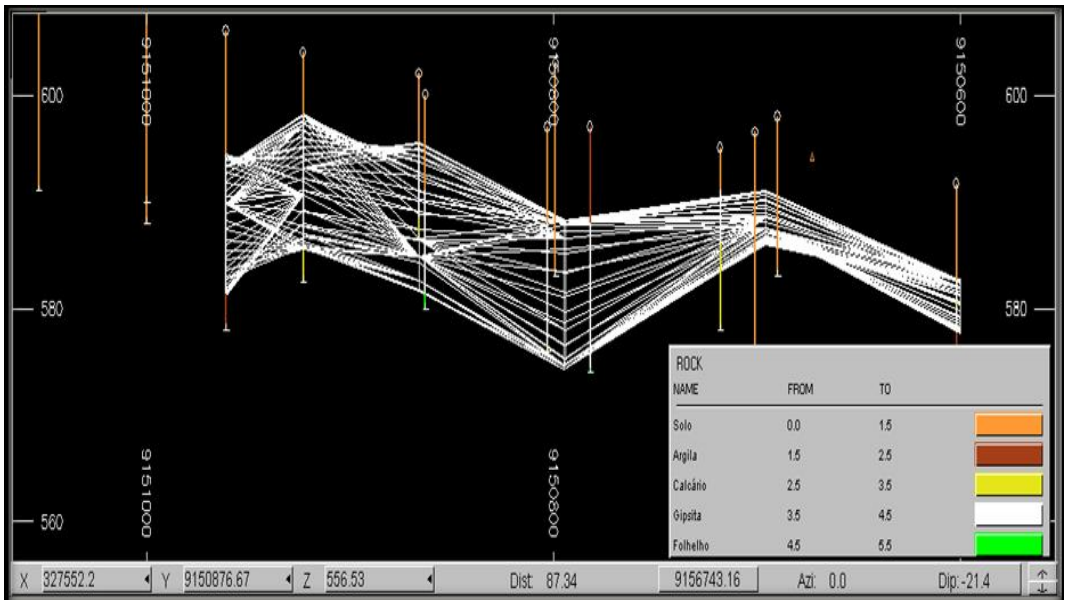

Figura 13 - Perfil gráfico del cuerpo mineral y orificios de Sondeo.

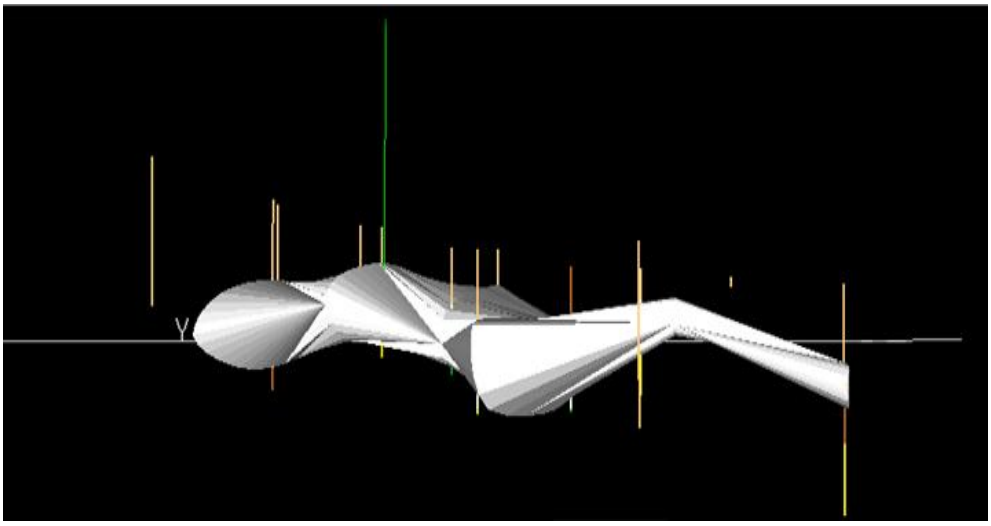

Figura 14 – Representación tridimensional del cuerpo mineral.

El bloque patrón para elaborar el modelo geológico de la ocurrencia mineral utilizado presentó dimensiones de 20m (dirección “x”), 20m (dirección “y”) y 5m (dirección “z”) en conformidad con las dimensiones del cuerpo (Figura15).

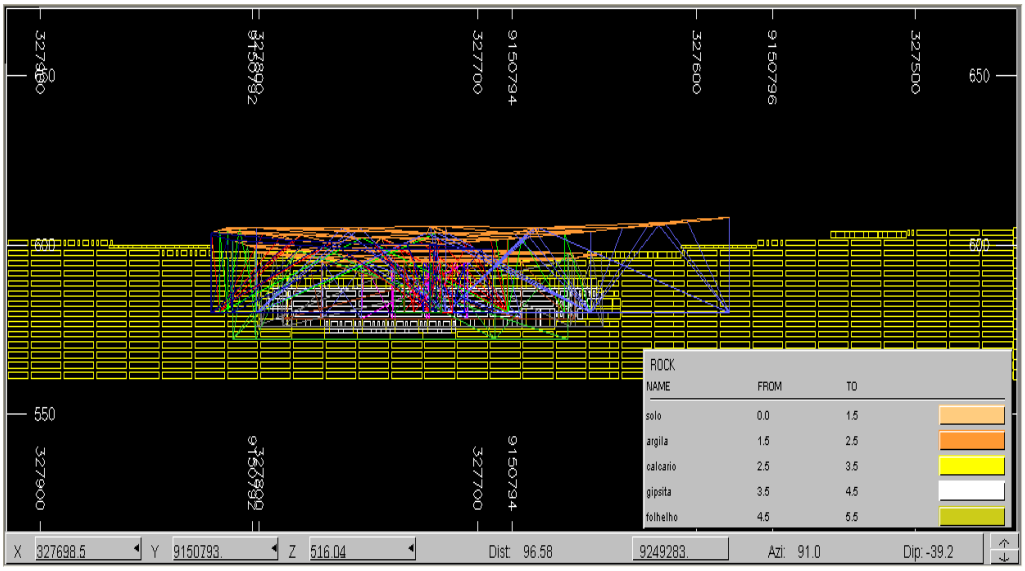

Figura 15 – Vista lateral – proceso construcción de los bloques modelo para determinación de la reserva de yeso y cuantificación del estéril.

Sin embargo, el cálculo de los volúmenes de yeso y estéril sólo estará efectivamente realizado tras la introducción de la topografía del terreno en el modelo geológico. Eso se debe al hecho de que el nivel topográfico es elemento limitador superior del yacimiento, en caso contrario, se tendría una superficie plana horizontal arriba del yacimiento lo que no muestra la realidad.

La inserción del límite superior del hueco de la mina impuesto por el relevo del local a través de la representación gráfica de la topografía, permite calcular los volúmenes de estéril y mena contenidos en el yacimiento. El procesamiento de los datos realizados por el DATAMINE Studio 2.0 dio como resultado que el yacimiento contiene 237.278,20m³ es decir 557.603,77 toneladas de mena disponibles para la laboreo (Figura 16).

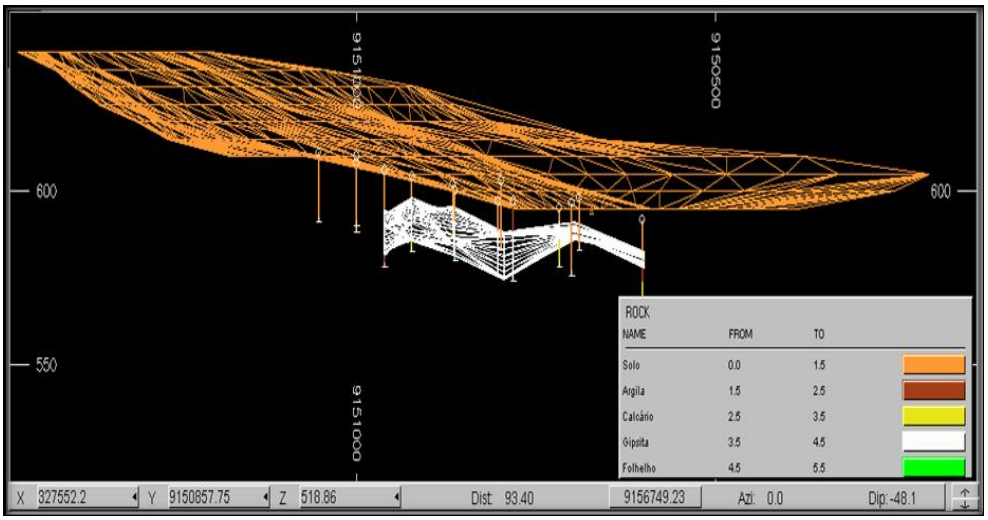

Figura 16 - Perfil gráfico del cuerpo mineral y orificios de Sondeo y relevo.

5.2 - PLANIFICACIÓN DE LABORES

5.2.1 – Aspectos generales

Según las Normas Reguladoras de la Minería - NRM, adoptadas por el Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (Brasil, 2002) en la planificación y desarrollo de una mina a cielo abierto deben ser consideradas las condiciones locales acerca de la geología, topografía y condiciones ambientales. La geometría del hueco, escombreras y de otras estructuras deben ser actualizadas a cada seis meses o con una periodicidad mayor, a criterio del DNPM, y de conformidad con el ritmo de avance previsto en el Plan de Labores. En la definición de los banqueos deben ser consideradas las características técnicas de los equipamientos utilizados en el desmonte y cargamento, la estabilidad de los macizos, las condiciones de seguridad y la posterior rehabilitación del área. La anchura mínima, la altura y el ángulo máximo de inclinación de los banqueos deben ser proyectados en función de las condiciones

geomecánicas del macizo, servicios a ejecutar, maquinarias y equipos a utilizar, de forma que se puedan realizar los trabajos con seguridad.

A lo que toca la infraestructura de una Mina, esta es compuesta por el conjunto de todas las operaciones equipamientos y servicios en general de apoyo a los labores de obtención del mineral o del concentrado final. En este conjunto están incluso los despachos administrativos, alojamiento de funcionarios, autovías, ferrocarriles, aeropuertos, seguridad, transporte entre otros. El sistema de transporte de mercancías, productos, insumos y personal de una mina en locales remotos son un reto real y de gran importancia para el éxito del emprendimiento de minería (de la Vergne, 2000).

El régimen operacional de la mina fue elaborado de forma que se puedan adecuarse a los dos métodos de extracción considerados; se hallan resumidos en las Tablas 10 y 09 del apartado *5.2.2.2* y Tablas 22 y 23 del apartado *5.2.3.2* de este capítulo. Tiene en cuenta una producción mensual de 6.000 toneladas de mena explotada en 2 turnos diarios de 4 horas, durante 22 días al mes y 12 meses por año. El mes no operativo de la mina queda destinado a los servicios de mantenimiento de maquinaria y conclusiones de los trabajos contables de la mina. Por lo tanto, la producción anual proyectada de 66.000 toneladas independientes del método de exploración elegido.

5.2.2 - Método por Cortas (Open pit)

Como se ha mencionado anteriormente, el principal objetivo de este trabajo es identificar las ventajas y desventajas, entre los métodos de labores en Cortas y el método de transferencia por Descubiertas (Strip mining), una posible alternativa a las empresas extractoras de yeso del Polo Gesseiro de Araripe. Para la selección del método se han considerado fundamentalmente, los aspectos tecnológicos, de infraestructura, socio-políticos y económicos en la región de implantación del procedimiento emprendimiento, además de los equipos disponibilidades en la región.

El primer método de explotación analizado en este trabajo será el desarrollado por Cortas (en banqueos múltiples) con frentes de labores en forma de anfiteatro (Open pit) que es el tradicionalmente adoptado por las empresas de minería de la región. Éste orden de selección es independiente de cualquier norma técnica.

5.2.2.1 – Cálculo de reservas

Como resultado del procesamiento geoestatístico de los datos importados al DATAMINE Studio 2.0, la modelación por bloques y la proyección del pit final mediante el método por Cortas, se obtuvo una estimación de reservas de 456.370,24 toneladas de yeso, con una recuperación del 82% del total y 1.047.278,18 toneladas de estéril, por lo que resulta una relación estéril/mena de 2,29:1. Todos estos datos están resumidos en la Tabla 05.

Tabla 05. – Característica acerca de la producción de la mina (método por Cortas).

RESUMEN DEL CÁLCULO DE RESERVAS		
Volumen de Estéril	Ve (m^3)	402.799,30
Volumen de Mena	Vm (m^3)	194.200,10
Volumen Estéril henchimiento	Vee (m^3)	563.919,02
Vol. Mena henchimiento	Vme (m^3)	252.460,13
Producción Mensual de Estéril	Vee (m^3/mes)	7.413,97
Producción Mensual de Mena	Vme (m^3/mes)	3.319,15
Relación Estéril x Mena	(t/t)	2,29
Relación Estéril x Mena	(t/vol)	5,39
Reserva Mineral	Rmin (m^3)	194.200,10
Volumen Total	Vt (m^3/mes)	596.999,40
Producción de Estéril	VPg (t/mes)	13.768,80
Producción de Yeso	Vpe (t/mes)	6.000,00
Vida Útil	VU (mes)	76
	VU (año)	6,34

Basándose en una serie histórica de precios (Figura 17) de los últimos 11 años suministrados por DNPM, se puede llegar a un valor medio de mercado de 5,35€ adoptado para venta de la tonelada de yeso extraída en el Polo Gesseiro de Araripe. Sin embargo, el valor de mercado de la tonelada de yeso se encuentra actualmente alrededor de 8,65€.

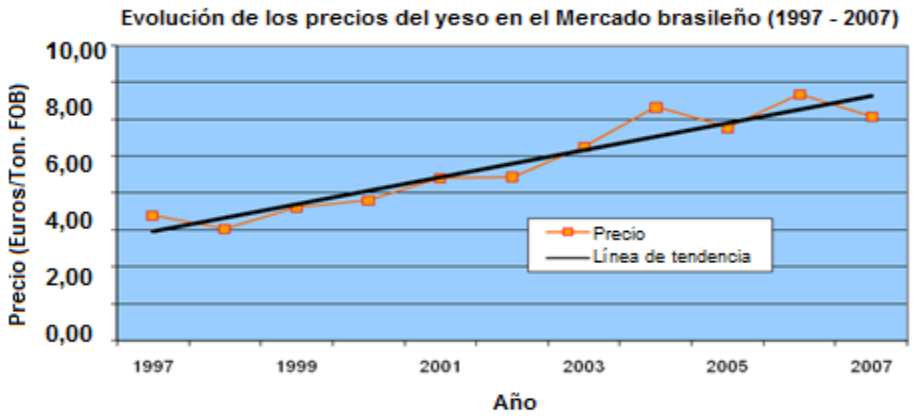

Figura 17 – Gráfico de la evolución de los precios del yeso ROM (Fuente: DNPM – 1997- 2007).

Con base a esta información, fue posible proyectar la facturación total de la mina en el orden de 3.951.257,49 €, considerando una estimativa de reserva de 456.370,24 toneladas de yeso, multiplicada por el precio actual de mercado de la mena (8,65€). La tabla 06 muestra la facturación anual de la empresa durante su período de actividad.

Tabla 06 – Facturación anual de la empresa.

	ESTIMATIVA ANUAL DE FACTURACIÓN (€/año)						
Año	01	02	03	04	05	06	07
Facturación	623.377	623.377	623.377	623.377	623.377	623.377	422.507
Ganancias	232.528	232.528	232.528	232.528	232.528	232.528	185.178

5.2.2.2 – Plan de explotación

La planificación de las operaciones de desmonte prevé métodos diferenciados para la remoción de la capa de estéril, que deberá ser realizada mecánicamente, ya que se trata de un material no consolidado (arcilla) de fácil remoción y con un espesor máximo de 13m, mientras que, la extracción de la mena sería realizada por fragmentación de la roca con uso de explosivos (voladura). La Tabla 07 presenta un resumen de las características de las rocas (estéril y mena) que componen la el yacimiento.

Tabla 07 – Características del material estéril y mena.

DATOS	Peso (t)	factor de hinchamiento (swell factor) (%)	Densidad (kg/m³)	Factor de henchimiento	Producción (t/mes)
Estéril	1.047.278,18	0,40	2,60	0,90	
Mena	456.370,24	0,30	2,35	0,57	6.000,00

Las dimensiones de los banqueos son valores estimados, necesarios para el desarrollo inicial del proyecto de la mina para obtener la producción deseada como se

puede verificar en la Tabla 08, pero se halla sujeta a las variaciones debido a fallos estructurales en el cuerpo mineralizado como fracturas, plegamientos y espesor de la mena. Seguidamente se especifican los parámetros geométricos de los banqueos a ejecutar:

- Inclinación del orificio (A_f) = 15°;
- Altura del banco (H_b) = 8m;
- Diámetro del orificio (D_f) = 3,0’’

En el caso de la mina en estudio, la operación de desmonte de la mena será ejecutada mediante voladura y consiste en la acción conjunta de perforación de roca, carga de los orificios y detonación, de acuerdo con la programación del Plan de Fuego. Sin embargo, el Plan de voladura busca racionalizar el proceso de desmonte con explosivos además de crear condiciones adecuadas para formación de taludes libres, dando origen a los banqueos. En el actual proyecto, están previstos banqueos múltiples, de altura de 8 metros promedio, con taludes de 15º para ofrecer mayor estabilidad y seguridad a los operarios durante las actividades de extracción, además del hecho de proporcionar mayor eficiencia de los explosivos durante la voladura de roca, colaborando en la reducción de los costos operacionales de la mina.

La Figura 18 muestra la configuración proyectada del pit final de la mina (rojo) incrementándose la topografía del área generada al fin del procesamiento por el DATAMINE.

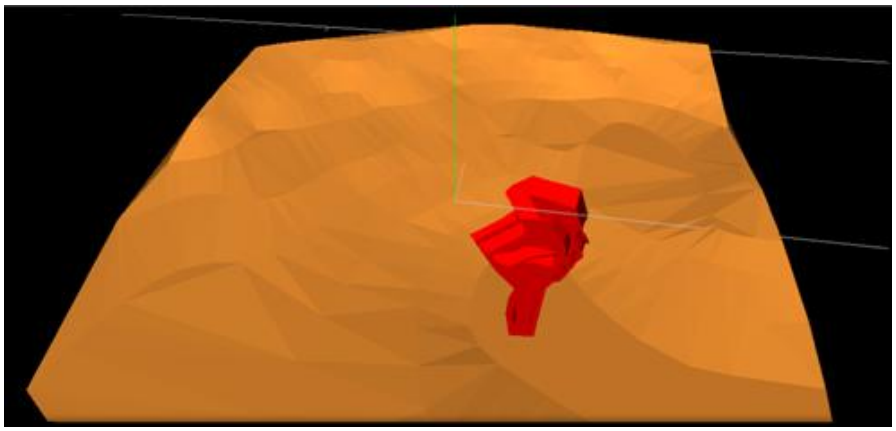

Figura 18 – Representación gráfica de mina y topografía.

Con el diseño final del hueco generado por el DATAMINE se obtuvieron las características geométricas de la mina desarrollada por Cortas además de los datos referentes a los banqueos (volumen y tonelaje de estéril y mena), resumidos a continuación en la Tabla 08.

Tabla 08 – Características Generales con volumen y tonelaje de los banqueos.

Banqueo	Volumen de estéril (10^3m^3)	Tonelaje de estéril (t)	Volumen de mena (10^3m^3)	Tonelaje de mena (t)	Volumen del banco (10^3m^3)	Volumen acumulado (10^3m^3)
612	7,099	18,457	0,00	0,00	7,099	7,099
604	175,727	456,890	1,673	3,931	177,400	184,498
596	185,748	482,944	80,759	189,784	266,507	451,005
588	13,177	34,259	91,614	215,294	104,791	555,796
580	21,049	54,728	20,154	47,361	41,203	596,999
TOTAL	402,799	1.047,278	194,200	456,370	589,901	1.795,398

A partir de aquí, se pudieron determinar los parámetros técnicos para la exploración del yacimiento tal como la vida útil y el régimen de funcionamiento de la mina (Tablas 09 y 10).

Tabla 09 – Horas trabajadas en la mina.

	Hora Trabajada	Días Trabajados	Meses Trabajados
Carga horaria	8,00	22,00	76

Tabla 10 – Producción mensual proyectada de la mina.

RESUMEN RÉGIMEN OPERACIONAL		
Carga horaria	CH (mes)	176,00
Producción horaria de estéril	PHe (m^3/h)	78,23
Producción horaria de yeso	PHg (m^3/h)	34,09
Producción horaria total	PHt (m^3/h)	112,32
Perforación necesaria	Pn (m)	225,80

5.2.2.3 - Dimensionamiento de maquinaria

La maquinaria destinada a la remoción del estéril y el cargamento y transporte de la mena desmontada han sido dimensionados de forma a adecuarse a la producción mensual estimada en el proyecto de la mejor manera posible. Siendo así, para realizar el trabajo de remoción y cargado del estéril se optó por una excavadora hidráulica con capacidad para mover el material rocoso a una profundidad aproximada de 8 metros.

Se han previsto perforaciones de 3” de diámetro para los trabajos de voladura hechas por una perforadora tipo Rock drills, en las operaciones para extracción del yeso. Los explosivos y accesorios han sido seleccionados en base a proporcionar mayor seguridad en el transporte y manejo, mejor resultado con respecto las características geomecánicas del macizo rocoso, disponibilidad en el mercado, menor coste operacional y minimización de los impactos ambientales causado por las voladuras, además del clima.

Tal maquinaria representa una parte significativa del total del coste operacional, teniendo como criterio general de selección de los equipos de explotación la capacidad necesaria de producción al menor coste operacional y siendo así de extrema importancia para la eficiencia operacional de la mina.

La compatibilización del porte entre los equipos de carga, transporte y tratamiento del mineral, puede volver la operación minera rentable o hacerla inviable. Así, el sistema más económico es el que utiliza el menor número de equipos, es decir una máquina para la carga y el menor número posible de camiones para el transporte, que ofrezcan la productividad deseada a costos mínimos y bajo condiciones seguras de trabajo, adecuadas a las características de la mina. Sin embargo, después de efectuados los cálculos de dimensionado de los equipos destinados a las operaciones de carga y transporte del estéril y de la mena para los dos métodos de desarrollo de mina, se concluyó no haber diferencia entre los equipos tampoco en sus capacidades.

Además, la Empresa que posee el permiso de explotación del área y compañera en este proyecto piloto, ya cuenta con una excavadora hidráulica KOMATSU PC-200 con capacidad de carga de 1,39m^3 y una pala-mecánica MICHIGAN 55C con capacidad de carga de 1,50m^3, que se encuadran en los requisitos exigidos en el proyecto satisfaciendo la producción proyectada para los dos métodos en estudio, además gracias a esto se disminuyen sustancialmente los gastos con adquisición de maquinaria. El transporte interno del material, tanto del estéril como de la mena, desde la mina hasta el área destinada a las pilas de estéril (escombreras) o área de almacenamiento y tratamiento de la mena será realizado por camiones tipo basculante con capacidad para 6 m^3.

Las Tablas 11, 12 y 13 ofrecen un resumen de los datos acerca de los cálculos para dimensionamiento de los equipos de carga, transporte y perforación. La metodología de desarrollo de los cálculos para determinación de estos datos se encuentra en el anexo de este estudio.

Tabla 11 – Características de los equipos.

DIMENSIONAMIENTO DE MAQUINARIA				
Máquinas	Capacidad (m³)	Eficiencia del equipo	Tiempo de ciclo (s)	Coeficiente de giro
Excavadora hidráulica	1,39	0,85	50,00	1,10
Camión basculante	5,56	0,90	-	-
Pala-mecánica	1,5	0,85	60,00	1,15
Perforatriz	Perforabilidad (m/h)	Eficiencia del equipo	Disponibilidad mecánica	Tamaño del hueco
	8	0,80	0,85	11,29

Tabla 12 – Característica de los equipos utilizados en la remoción de estéril.

PRODUCCIÓN DE ESTÉRIL		
Producción horaria de la excavadora	85,07	m³/hora
Potencia de la excavadora	3,61	T
Número de excavadoras	0,50	unidad
Tiempo de servicio	176,0	horas
Producción horaria del camión	42,19	m³/h
Potencia del camión	14,46	T
Tiempo de carga	3,67	min.
Tiempo de descarga	1,5	min.
Tamaño del trayecto	1,00	Km
Velocidad del camión cargado	25,00	km/h
Velocidad del camión descargado	40,00	km/h
Tiempo de operación	7,12	min.
Número de viajes	8	viajes/h
Número de camiones	1,0	unidad
Tiempo de servicio	175,7	horas

Tabla 13 – Características de los equipos de labores.

PRODUCCIÓN MENA		
Producción horaria de la pala-mecánica	42,57	m³/hora
Potencia de la pala-mecánica	3,53	T
Número de palas-mecánicas	0,8	unidad
Tiempo de servicio	141	horas/mês
Producción horaria del camión	37,30	m³/h
Potencia del camión	13,07	T
Tiempo de carga	4,60	min.
Tiempo de descarga	1,5	min.
Tamaño del trayecto	1000,00	M
Velocidad del camión cargado	25,00	km/h
Velocidad del camión descargado	40,00	km/h

Tiempo de servicio	8,1	min.
Número de viajes	7	viajes/h
Número de camiones	6	unidades
Tiempo de servicio	161	horas
Número de orificios	20,00	unidades
Tiempo total de perforación	28,23	horas
Número de maquinas perforadoras	0,24	unidades

El equipo de perforación, un roto-percusor (Rock Drill) ha sido seleccionado de acuerdo con las características geomecánicas de la roca a perforar. Se concluyó que el equipo seleccionado, similar a una RD 700 o DENVER modelo AT-50, debería ser capaz de perforar orificios de 2-4 "y de hasta 30 m de profundidad, con un peso entre 3000-6000 kg y equipado con tallos de perforación con el avance y el mecanismo de rotación que le permite obtención de orificios verticales e inclinados, con velocidad de penetración de 8m/h adecuados a las necesidades de la mina.

5.2.2.4 - Plan de voladura

La elaboración del plan de voladura fue realizada basándose en el ángulo de perforación (A_f) = 15°; altura del talud (H_b) = 8m (para el caso de desarrollo por Cortas y 11m para el de Descubiertas) y diámetro de orificio (D_f) = 3,0’’, como también ecuaciones, características de los explosivos seleccionados y características de la roca (rigidez, resistencia a la compresión, tensión dinámica y tipos, frecuencia y orientación de las fracturas in situ). El objetivo es el de agilizar el proceso de ajustamiento del plan a cada caso. También se ha llevado a cabo la influencia del clima de la región.

Resumen del plan de voladura para Cortas

Especificaciones acerca del plan de voladura para el período de estiaje: densidad de 0,80 g/m³, velocidad de detonación de 4000 m/s, volumen gaseoso de 973 l/kg Y energía absoluta de 977cal/g. La Tabla 14 presenta un resumen de las principales características del plan de voladura para el período de estiaje.

Tabla 14. Resumen del plan de voladura para Cortas para el período de estiaje.

	Símbolo	Cantidad	Unidades
1. DATOS DEL PLAN:			
INCLINACIÓN DEL TALUD	A	15	Grados
TAMAÑO DEL BANCO	Cb	24	M
LARGURA DA BANCO	Lb	15	M

	ALTURA DA BANCO	Hb	8	M
	PRODUCCIÓN MENSUAL DE YESO	Pmg	2553,20	m³/mes
	DENSIDAD DE LA ROCA	Droca	2,35	t/m³
2.	**GEOMETRIA DEL PLAN:**			
	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	Øf	76,00	Mm
	AFASTAMIENTO	A	3,50	M
	SUBFORACIÓN	S	1,05	M
	TAPONADO	T	2,45	M
	ESPACIADO	E	4,55	M
	PROFUNDIDAD DEL ORIFICIO	Hf	9,33	M
	NÚMERO DE ORIFICIOS P/ MES	N	20	Unidad
3.	**CÁLCULOS DE CARGAS DE EXPLOSIVOS**			
	CARGA DE FONDO	Qf	9,98	Kg
	CARGA DE COLUNA	Qcol	15,48	Kg
	CARGA TOTAL POR ORIFICIO	Qt	25,46	Kg
	RAZÓN LINEAR DE CARGA			
	ANFO	RL nit	3,70	kg/m
4.	**OTROS CÁLCULOS:**			
	VOLUMEN DE ROCA POR ORIFICIO	Vf	143,71	m³/orificio
		Tonf	337,71	t/orificio
	RAZÓN DE CARGA	Rc	5,64	kg/m
5.	**RECALCULOS:**			
	VOLUME DE ROCA (recalculado)	Vfr	127,40	m³
	ESPACIADO	**Er**	**4,40**	**M**
	RAZÓN DE CARGA	Rc	85,04	kg/t
	PERFORACIÓN ESPECIFICA	Pe	0,07	m/m³
	CONSUMO DE EXPLOSIVO POR MES		510,26	Kg

Aunque la región donde se encuentra la mina presente un de clima con bajo índice pluviométrico, la ocurrencia de lluvias en ciertas épocas resuelta dañina para el uso de explosivo tipo ANFO. Debido a este hecho, los de emulsión encartuchada son adoptados como explosivo de carga durante este período lluvioso. La Tabla 15 presenta un resumen de las principales características del plan de voladura para el período lluvioso.

Especificaciones: Densidad de 1.15 g/m³, velocidad de la detonación de 4000 m/s, volumen gaseoso de 770 l/kg y energía absoluta de 772cal/g.

Tabla 15. Resumen del plan de voladura para Cortas (período lluvioso).

		Símbolo	Cantidad	Unidades
1.	**DADOS DO PLAN:**			
	INCLINACIÓN DEL TALUD	A	15	grados
	TAMAÑO DEL BANCO	Cb	24	m
	LARGURA DEL BANCO	Lb	15	m
	ALTURA DEL BANCO	Hb	8	m
	PRODUCCIÓN MENSUAL DE YESO	Pmg	2553,20	m³/mes

	DENSIDAD DE LA ROCA	Droca	2,35	t/m³
2.	**GEOMETRIA DEL PLAN:**			
	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	Øf	76,00	mm
	AFASTAMIENTO	A	3,50	m
	SUBFORACIÓN	S	1,05	m
	TAPONADO	T	2,45	m
	ESPACIADO	E	4,55	m
	PROFUNDIDAD DEL ORIFICIO	Hf	9,33	m
	NÚMERO DE ORIFICIOS P/ MES	N	20	unidad
3.	**CÁLCULOS DAS CARGAS DE EXPLOSIVOS**			
	CARGA DE FONDO	Qf	16,74	unidad
	CARGA DE COLUNA	Qcol	25,11	unidad
	CARGA TOTAL POR ORIFICIO	Qt	56,50	unidad
	RAZÓN LINEAR DE CARGA			
	ENCARTUCHADO/EMUSIÓN	RL	5,78	kg/m
4.	**OTROS CÁLCULOS:**			
	VOLUME DE ROCA POR ORIFICIO	Vf	143,71	m³/orificio
	RAZÓN DA CARGA	Rc	3,61	kg/m
5.	**RECALCULOS:**			
	VOLUMEN DE ROCA (recalculado)	Vfr	127,40	m³
	ESPACIADO	**Er**	**4,40**	**m**
	RAZÓN DE CARREGAMENTO	Rc	132,80	kg/t
	PERFORACIÓN ESPECIFICA	Pe	0,07	m/m³
	CONSUMO DE ENCARTUCHADO/MES		796,81	kg

Plan de formación de las pilas

Este plan tiene la finalidad de adecuar las características geométricas de la pila, tales como altura, anchura, distancia con relación al talud y dirección de lanzamiento de forma que permita optimizar las operaciones de carga del material desmontado y configuración de la mina. El planeamiento del desmonte prevé una malla rectangular, con utilización de accesorios de retardos para secuenciar la voladura conforme enseña la figura 19 abajo.

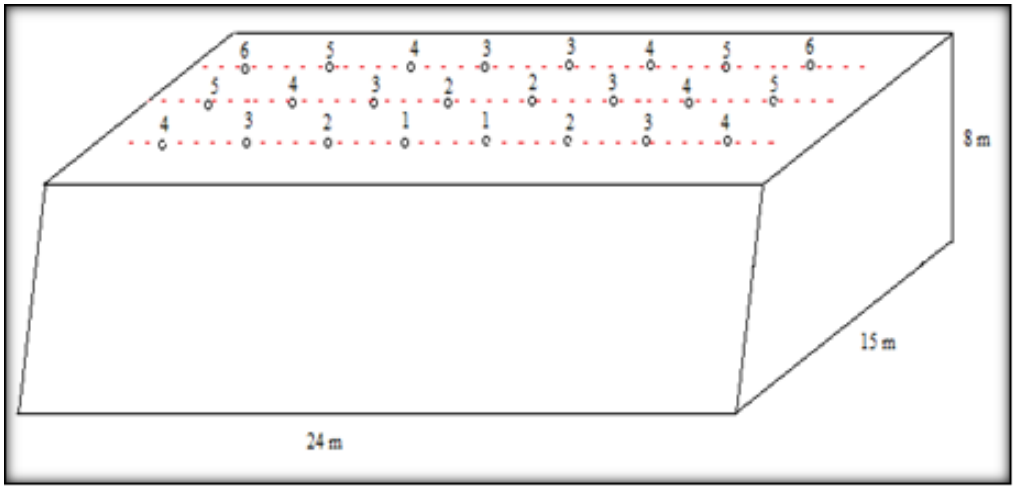

Figura 19 – Modelo de malla de perforación a ser aplicada en el desmonte de la mena.

Tal secuencia permite que el material fraccionado con la voladura forme una pila concentrada delante y en el centro del espacio que antes ocupaba. Esta configuración posibilita mayor seguridad en las operaciones de desmonte, lo que evita el ultra lanzamiento de fragmentos de roca como también a los banqueos inferiores de modo que no haya interferencia en operaciones que puedan tener lugar en otros puntos de la mina.

5.2.3 -Método por Transferencia (Descubiertas)

El método de explotación por Transferencia tipo descubiertas es el segundo a ser analizado en este trabajo. Este método no es utilizado en la región del Polo Gesseiro de Araripe, pero suele ser adoptado en Brasil para exploración de yacimientos de carbón en el Sur y bauxita en el Norte del país.

De acuerdo con Britton & Hartman (1996), el conjunto de técnicas de explotación mineral que componen el método Strip mining son aplicable perfectamente a exploraciones de yacimientos formados por varias capas de rocas mineralizadas con orientaciones horizontales o semi-horizontales y de poco espesor, ubicadas a profundidades no muy grandes (alrededor de 50 m). Tales características son bastantes semejantes a las de los cuerpos minerales de formación sedimentaria comunes en la región del Pólo Gesseiro de Araripe. Aún afirman que el relleno de los huecos generalmente es deseable y viable del punto de vista económico, además de ser practicable en las operaciones de avanzo de estas minas.

Este método es capaz de ofrecer menos impactos ambientales por producir escombreras de volúmenes menores en la superficie, contribuyendo de forma positiva al ecosistema local, además de facilitar la posterior exploración continuada del área y al desarrollo económico regional después del fin de la actividad minera (Ayala Carcedo & Vandillo, 2004).

5.2.3.1 - Cálculo de reserva

El cálculo de las reservas para el método de extracción (transferencia) ahora estudiado se realizó usándose el programa DATAMINE Studio 2.0 y los procedimientos de cálculos geoestatísticos fueron los mismos hechos para la determinación de las reservas por el método por Cortas. Como resultado, se obtuvieron unas reservas estimadas de 557.603,77 toneladas de yeso y 1.179.571,90 toneladas de estéril con recuperación de 100%, llegando a una relación estéril/mena del orden de 1,91:1. como se halla resumido en la Tabla 16.

Tabla 16 – Características acerca de la productividad de la mina por Strip Mine.

RESUMEN CÁLCULO DE RESERVA		
Volumen de Estéril	Ve (m³)	453.681,50
Volumen de Mena	Vm (m³)	237278,30
Volumen de Estéril extraído	Vee (m³)	635154,10
Volumen de Mena extraído	Vme (m³)	308461,79
Producción Mensual de Estéril	Vee (m³/mes)	6834,46
Producción Mensual de Mena	Vme (m³/mes)	3319,15
Relación Estéril x Mena	(t/t)	2,12
Relación Estéril x Mena	(t/vol)	4,97
Reserva Mineral	Rmin (m³)	237278,30
Volumen Total	Vt (m³/mes)	690959,80
Producción de Estéril	VPg (t/mes)	12692,58
Producción de Yeso	Vpe (t/mes)	6.000,00
Vida Útil	VU (mes)	93
	VU (año)	7,74

Basado en el gráfico 03 y información acerca del valor del mercado de la tonelada del yeso (8,65€) durante el año de 2009 fue posible hacer una proyección de facturación de la orden de 4.823.274,60€, en vista la reserva calculada y el precio corriente del mercado. La Tabla 17 presenta un resumen de las características de las rocas (estéril y mena) que componen la el yacimiento.

Tabla 17 – Facturación anual de la empresa por Descubiertas.

ESTIMATIVA ANUAL DE FACTURACIÓN (€/año)								
Año	01	02	03	04	05	06	07	08
Facturación	623.377	623.377	623.377	623.377	623.377	623.377	623.377	671.858
Ganancias	245.381	245.381	245.381	245.381	245.381	245.381	245.381	294.967

5.2.3.2 – Plan de explotación

El régimen operacional adoptado en esta parte del estudio será semejante aquel aplicado en el primer método (Cortas). Así la producción mensual será de 6.000 toneladas de explotado del mineral en 93 meses (7.74 años) en dos turnos diarios de 4 horas y 22 días por mes, 12 meses por año. La producción anual proyectada fue mantenida 72.000 toneladas del yeso conforme la capacidad los equipos ya el planeamiento de las operaciones de desmonte prevé dos métodos distintos para remoción de la capa de cobertura estéril y de la mena. La capa de estéril será quitada mecánicamente, por si constituirse de un material arcilloso (blando) y con un espesor de 13m de altura máxima como se halla resumido en la Tabla 18. La explotación del mineral será llevada a cabo por rotura de la roca con uso de explosivos. La capa del mineral tiene espesor máximo de 13,50m que será quitada toda a la vez en arranques semanales.

Tabla 18 – Características del material estéril y mena.

DATOS	Peso (t)	Factor de Henchimiento (%)	Densidad (kg/m³)	Factor de henchimiento	Producción (t/mes)
Estéril	1.179.571,90	0,40	2,60	0,90	
Mena	557.604,24	0,30	2,35	0,57	6.000,00

Como primer paso en el diseño del nuevo hueco de la mina se ha dividido el cuerpo mineral en 12 fases de desarrollo (paneles) con longitud fija proporcional a la del cuerpo. Las frentes de extracción (de estéril o de mena) en cada fase o painel de desarrollo tendrán su dirección perpendicular a longitud del painel para permitir el ciclo transferencia de masas en el método por Transferencia como muestra la Figura 21 abajo.

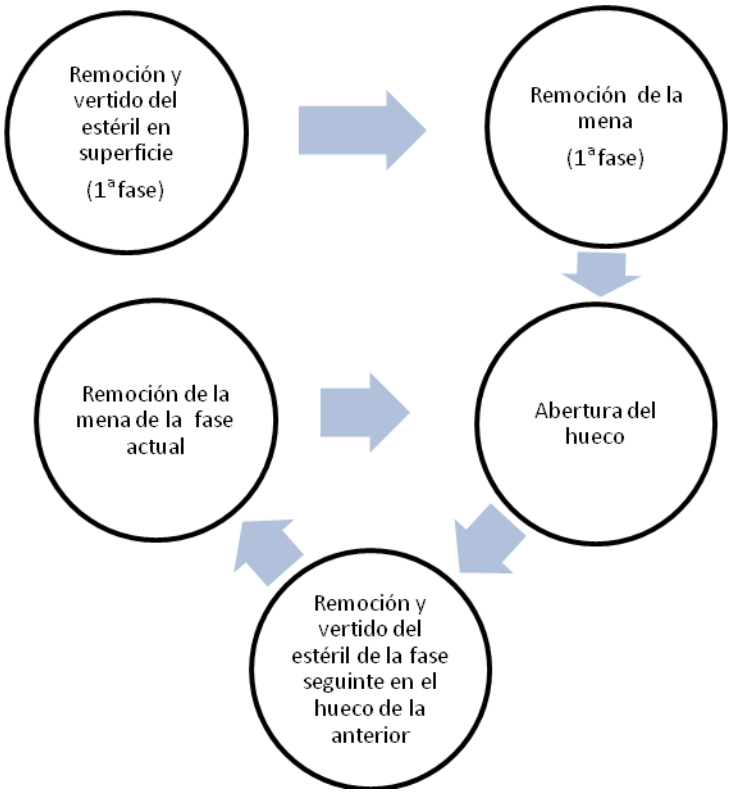

Figura 20 - Transferencia de masas en el ciclo de explotación por descubiertas.

Con el DATAMINE se obtuvieron las características geométricas, datos sobre volumen y tonelaje de las fases de desarrollo resumidos en la Tabla 19 y así determinar los parámetros técnicos para exploración del yacimiento (tablas 20 y 21).

Tabla 19. - Características Generales de los Paneles (volumen y tonelaje) constituyentes de las fases de desarrollo por Descubiertas.

Painel	Volumen de estéril (m^3)	Volumen de mena (m^3)	Tonelaje de estéril (kg)	Tonelaje de mena (kg)	Volumen de corte (m^3)	Tonelaje de corte (kg)
1	10.903,40	1.567,90	28.348,84	3.684,57	12.471,30	32.033,41
2	7.941,90	1.110,90	20.648,94	2.610,62	9.052,80	23.259,56
3	13.122,10	1.241,00	34.117,46	2.916,35	14.363,10	37.033,81
4	12.335,50	2.672,40	32.072,30	6.280,14	15.007,90	38.352,44
5	25.354,90	11.498,90	65.922,74	27.022,42	36.853,80	92.945,16
6	30.632,20	4.500,00	79.643,72	10.575,00	35.132,20	90.218,72
7	42.501,10	47.009,10	110.502,86	110.471,39	89.510,20	220.974,25
8	64.849,30	35.397,60	168.608,18	83.184,36	100.246,90	251.792,54
9	37.504,00	25.610,20	97.510,40	60.183,97	63.114,20	157.694,37
10	49.179,90	28.331,90	127.867,74	66.579,97	77.511,80	194.447,71
11	60.570,10	36.256,10	157.482,26	85.201,84	96.826,20	242.684,10

12	98.787,10	42.082,20	256.846,46	98.893,17	140.869,30	355.739,63
Total	453.681,50	237.278,20	1.179.571,90	557.603,77	690.959,70	1.737.175,67

El trabajo de extracción del mineral se basa en el plan de voladura elaborado de acuerdo con la producción mensual deseada por la compañía (6000 t). Prevé producir 1.500 toneladas de material a la semana optimizando el uso de los explosivos, menor riesgo laboral y menores costes por operación. Las fases de avance dividen el cuerpo mineral en 12 paneles (Figura 21) que tendrán longitud fija de 30 m con alturas que pueden variar entre 8 y 15 m y anchura entre 30 y 150 m. Estos datos sirvieron de base para a la elaboración del plan de voladura inicial para el método abordado en este apartado con las siguientes características:

- Altura = 12m;
- Longitud = 20m (fijo);
- Anchura = 34,0m;
- Inclinación = 15°.

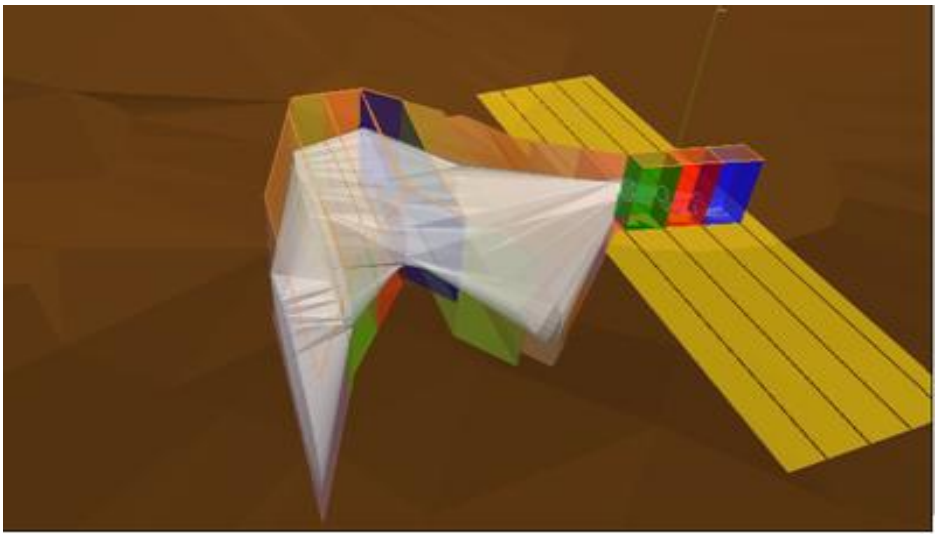

Figura 21 - Avance de la mina con relación al cuerpo (Vista inversa).

Tabla 20 – Horas trabajadas en la mina.

	Hora trabajada	Días trabajados	Meses trabajados
Carga horaria	8,00	22,00	93

Tabla 21 – Producción mensual proyectada de la mina.

RESUMEN RÉGIMEN OPERACIONAL		
Carga horaria	CH (mes)	176,00
Producción horaria de estéril	PHe (m³/h)	3522,10
Producción horaria de yeso	PHg (m³/h)	34,10
Producción horaria total	PHt (m³/h)	3556,19
Perforación necesaria	Pn (m)	640,00

De la misma forma como se ha hecho para el sistema del método por Cortas, el dimensionado de la maquinaria para el arranque, carga y transporte del material sacado del hueco es aquel en lo que se utiliza la menor flota posible pero manteniendo la productividad deseada al menor coste y con condiciones de trabajos dentro de las normas de seguridad adaptadas a las características de la mina.

5.2.3.3 - Dimensionamiento de maquinaria

La selección del equipo para el método por Transferencia está basado en los mismos datos y ecuaciones usadas para el método de desarrollo por Cortas (cielo abierto) considerando las informaciones con respecto al depósito geológico observando a los diversos elementos técnicos de ingeniería exigidos para un estudio de aprovechamiento económico de una exploración mineral desarrollada por un método de transferencia (descubiertas).

Siendo así, después de la definición del avance semanal, es posible determinar la capacidad de la excavadora para así, más adelante si elige el equipo de transporte limito por las características de carga de la excavadora. El alcance de la descarga del equipo de carga (la excavadora) condiciona el porte del camión de transporte además la distancia de la frente de extracción y los locales destinados a los depósitos de estéril o planta de tratamiento.

Tabla 22 – Características de los equipos por Descubiertas

Máquinas	Capacidad (m³)	Eficiencia del equipo	Tiempo de ciclo (s)	Coeficiente de giro
Excavadora hidráulica	1,39	0,85	50,00	1,10
Camión basculante	5,56	0,90	-	-
Pala-mecánica	1,5	0,85	60,00	1,15
Perforatriz	Perforabilidad (m/h)	Eficiencia del equipo	Disponibilidad mecánica	Tamaño del hueco
	8	0,80	0,85	32,11

La planificación de las operaciones transporte del estéril removido durante la primera fase de extracción tiene en cuenta un volumen de 10.903,40ton correspondiente al painel de esta fase mientras que el material estéril sacado de las siguientes fases será vertido el hueco anterior.

Tabla 23 – Característica de los equipos utilizados en la remoción del estéril.

PRODUCCIÓN DE ESTÉRIL		
Producción horaria de la excavadora	85,07	m³/hora
Potencia de la excavadora	3,61	T
Número de excavadoras	1	Unidad
Tiempo de servicio	141,0	Horas
Producción horaria del camión	45,97	m³/h
Potencia del caminó	14,46	T
Tiempo de carga	3,67	min.
Tiempo de descarga	1,5	min.
Tamaño del trayecto	0,70	Km
Velocidad del camión cargado	25,00	km/h
Velocidad del camión descargado	40,00	km/h
Tiempo de operación	6,53	min.
Número de viajes	8	viajes/h
Número de camiones	1,84	unidades
Tiempo de servicio	324,5	Horas

Tabla 24 – Características de los equipos de laboreo.

PRODUCCIÓN MENA		
Producción horaria de la pala-mecánica	42,57	t/hora
Potencia de la pala-mecánica	3,53	T
Número de palas-mecánicas	0,8	unidad
Tiempo de servicio	176	horas/mes
Producción horaria del camión	37,30	t/hora
Potencia del camión	13,07	T
Tiempo de carga	4,6	min.
Tiempo de descarga	1,5	min.
Tamaño del trayecto	1000,00	M
Velocidad del camión cargado	25,00	km/h
Velocidad del camión descargado	40,00	km/h
Tiempo de servicio	6,5	min.
Número de viajes	7	viajes/h
Número de camiones	0,9	unidad
Tiempo de servicio	130	Horas
Número de orificios	20,00	unidades
Tiempo total de perforación	28,23	Horas
Número de maquinas perforadoras	0,67	unidad

Serán perforados orificios con profundidad total de 11,29 m una vez al mes, a cada semana serán realizados cinco orificios y habrá una semana en la que será

necesario perforar 5 y 6 orificios alternados por semanas siendo necesario sólo una máquina para atender la producción del material sacado de la mina (ROM) solicitada. La maquina utilizada para este trabajo podrá ser de mismo tipo adoptado en el apartado *5.2.3.3* del caso anterior.

5.2.3.4 - Plan de voladura

A través de revisión bibliográfica y con el apoyo de una planilla de cálculo (EXCEL) fue desarrollado una plantilla para calcular un PLAN DE VOLADURA patrón que sirva de rumbo a los futuros planes de voladura adaptados a los cambios ocurridos en las características del yacimiento y mercado consumidor durante el desarrollo de la mina.

En las tablas siguientes nombradas como Plan de voladura se muestran los resúmenes de los principales datos basados en las informaciones respecto del painel a ser desmontado (longitud del painel de 34,00 m; anchura de 20,00 m, altura de la capa de mena con 10,00 m, inclinación del orificios de 15° y diámetro del orificio de 3”), además de las características de los explosivos que serán utilizados en el desmonte también se habrá insertado en la plantilla y el tipo de roca para el método por Transferencia.

También están previstos los cambios climáticos que ocurren en la Región del Sertão de Araripe elaborándose así dos planes distintos de acuerdo con el período de estiaje o lluvioso. Para la época de estiaje los huegos serán cargados con un explosivo granulado del tipo Nitrocarbonitrato (NCN)-Anfo para la carga de fondo y la carga de columna, reduciendo costes en las operaciones de desmonte. La Tabla 25 presenta un resumen de las principales características del plan de voladura para el período estiaje.

Especificaciones: densidad de 0,80 g/m³, velocidad de detonación de 4000 m/s, volumen gaseoso de 973 l/kg y energía absoluta de 977 cal/g.

Tabla 25. - Resumen del plan de voladura para Descubiertas (período de estiaje)

	Símbolo	Cantidad	Unidades
1. DATOS DEL PLAN DE VOLADURA:			
INCLINACIÓN DEL TALUD	α	15	grados
ANCHURA DEL PAINEL Mayor	CB	39,6	m
ANCHURA DEL PAINEL Menor	Cb	32	m
LONGITUD DEL PAINEL	Lb	20	m
ALTURA DA BANQUE	CB	39,6	m
ENCARTUCHADO/EMUSIÓN	AWS	772	cal/g
DIAMETRO DEL EXPLOSIVO	Dex	51	mm
PRODUCCIÓN MENSUAL DE YESO	Pmg	2553,20	m³/mes
DENSIDAD DE LA ROCA	Droca	2,35	t/m³
2. GEOMÉTRIA DEL PLAN:			
ÁREA DEL PAINEL	Ab	680,00	m²
VOLUME DEL PAINEL	Vb	6800,00	m³
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	Øf	76,00	mm
AFASTAMIENTO	A	3,15	m
SUBFORACIÓN	S	0,95	m
TAPONADO	T	2,21	m
ESPACIADO	E	4,10	m
PROFUNDIDAD DEL FURO	Hf	11,30	m
NUMERO DE ORIFICIOS P/ MES	N	22	unidades
3. CÁLCULOS DE CARGAS DE EXPLOSIVOS			
CARGA DE FONDO POR FURO			
CARGA DE FONDO	Qf	21,01	kg
CARGA DE COLUNA	Qcol	31,52	kg
CARGA TOTAL POR FURO	Qt	52,53	kg
RAZÓN LINEAR DE CARGA			
ENCARTUCHADO/EMUSÃO	RL	5,78	kg/m
4. OTROS CÁLCULOS:			
VOLUMEN DE ROCA POR FURO	Vf	1374,20	m³/furo
	Tonf	3229,36	ton/furo
RAZÓN DE CARGA	Rc	26,16	kg/m
5. RECALCULOS:			
VOLUMEN DE ROCA (recalculado)	Vfr	128,99	m³
ESPACIADO (recalculado)	**Er**	**3,96**	**m**
RAZÓN DE CARGA	Rc	173,29	kg/t
PERFURACIÓN ESPECIFICA	Pe	0,09	m/m³
6. CONSUMO DE EXPLOSIVOS:			
ENCARTUCHADO/EMUSIÓN (mes)		**1039,76**	**kg**

La ocurrencia de lluvias en determinada época del año impide el uso de explosivo del tipo ANFO debido a problemas de reacción del mismo en condiciones de alta humedad. Teniendo en cuenta este hecho, fue adoptado como explosivo de carga de los orificios durante el periodo lluvioso los del tipo emulsión encartuchada con las siguientes especificaciones: densidad de 1,15 g/m³, velocidad de detonación de 4000 m/s, volumen gaseoso de 770 l/kg y energía absoluta de 772 cal/g. La Tabla 26 presenta un resumen de las principales características del plan de voladura para el período estiaje.

Tabla 26. - Resumen del plan de voladura para Descubiertas (período de lluvias)

	Símbolo	Cantidad	Unid
1. DADOS DEL PLAN DE VOLADURA:			
INCLINACIÓN DE LA BLOQUE	α	15	grados
ANCHURA DE LA PAINEL Mayor	CB	39,6	m
ANCHURA DEL PAINEL Menor	Cb	32	m
LONGITUD DEL PAINEL	Lb	20	m
ALTURA DEL BLOQUE	Hb	30	m
PRODUCCIÓN MENSUAL DE YESO	Pmg	2553,19	m³/mes
DENSIDAD DE LA ROCA	Droca	2,35	t./m³
2. GEOMÉTRIA DEL PLAN:			
ÁREA DEL PAINEL	Ab	716,00	m²
VOLUME DEL PAINEL	Vb	21480,00	m³
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN	Øf	76,00	mm
AFASTAMIENTO	A	3,50	m
SUBFORACIÓN	S	1,05	m
TAPONADO	T	2,45	m
ESPACIADO	E	4,45	m
PROFUNDIDAD DEL FURO	Hf	32,11	m
VOLUMEN DEL FURO	Vtc	466,73	m³
NUMERO DE ORIFICIOS P/ MES	N	22	unidades
3. CÁLCULOS DE LAS CARGAS EXPLOSIVAS			
CARGA DE FONDO POR FURO			
CARGA DE FONDO	Qf	43,03	kg
CARGA DE COLUNA	Qcol	66,69	kg
CARGA TOTAL POR FURO	Qt	109,72	kg
RAZÓN LINEAR DE CARGA			
ANFO	RL	3,70	kg/m
4. OTROS CÁLCULOS:			
VOLUMEN DE ROCA POR FURO	Vf	3926,56	m³/furo
	Tonf	9227,42	ton./furo
RAZÓN DE CARGA	Rc	35,79	kg/m
5. RECALCULOS:			
VOLUMEN DE ROCA (recalculado)	Vfr	466,73	m³
ESPACIADO (recalculado)	**Er**	**4,29**	**m**
RAZÓN DE CARGA	Rc	100,04	kg/t
PERFORACIÓN ESPECIFICA	Pe	0,07	m/m³
6. CONSUMO TOTAL DE EXPLOSIVOS:			
ANFO		**600,23**	kg

Planificación de formación de las pilas

La planificación de formación de las pilas está asociado que el tipo de equipamiento fue a determinar para el cargamento y con eso se puede adecuar las características geométricas de la pila (altura, distancia con respecto la tira y dirección de lanzamiento). La distancia, en metros, del lanzamiento de la pila con respecto la tira viene dada por la siguiente ecuación:

$$L = \frac{1}{4} Rvgt,$$

donde Rvgt es la razón volumétrica gaseosa total, tanto para el caso del uso de explosivo granulado (ANFO) cuanto para encartuchado/emulsión. Así tenemos como resultado los siguientes casos:

- Lanzamiento = ¼ 194,45 = 48,61m (ANFO);
- Lanzamiento = ¼ 4815,91 = 1.204m (ENCARTUCHADO).

Las labores de desmonte de la roca por medio de explosivos prevé dos tipos de malla una con 5 en forma trapezoidal "pie de gallina" y otra con 6 orificios rectangular adoptadas en intervalos semanales de voladuras para atender la producción proyectada. En mallas con 5 orificios la primera línea inicia el proceso de detonación que pasa en seguida al hueco central de la segunda línea generándose la cara libre para permitir la salida del material rocoso fragmentado por la acción del explosivo atrapado en el resto de los orificios. En las semanas donde la malla posee 6 orificios (tres por cada línea) donde el hueco del medio de la primera línea iniciará el desmonte abriendo la cara libre para los otros dos colíneales a este, seguidos en la misma secuencia por la segunda línea formando una pilla al centro del espacio generado.

5.2.4 - Estudio de viabilidad económica del proyecto

Según de la Vergne, 2000, "Los estudios detallados de viabilidad incluyen una evaluación detallada para determinar el máximo beneficio o el beneficio más probable de obtener, lo que indica la posibilidad o no de su aplicación. Un estudio de viabilidad puede evaluar el inicio o la continuación de un proyecto para explotar recursos minerales en particular, para formar una evaluación financiera inicial, a menudo realizada por un solo individuo.

El yeso de Araripe pernambucano es encontrado a poca profundidad no siendo raros los casos de afloramientos lo que reduce significativamente los costos operacionales y presenta un alto grado de pureza incrementando aún más su valor. Así, las empresas del Polo Gesseiro de Araripe pueden concurrir de forma igualitaria con las empresas del Sur y Sudeste de Brasil (mayores consumidores nacionales) y en el mercado exterior a costos competitivos. Sin embargo, la falta de una infraestructura, sobre todo en lo que se refiere a la logística de los productos, que permita la reducción

de los costos de transporte hace con que este producto llegue a los principales mercados consumidores con el coste hasta nueve veces mayor que su coste de producción, perdiendo, competitividad respecto otros países (Ramos & Ciarlini, 2003).

Después del análisis de los aspectos técnicos relacionados a la elección del método de explotación que señala generalmente a más de un método de extracción mineral, se realiza el análisis de los criterios económicos y financieros, o estudio de la viabilidad económica del proyecto. El estudio de la viabilidad económica es responsable de la selección final de la técnica de explotación que más se adecua a la situación, de acuerdo con el coste unitario presentado por cada método de extracción basado en varios criterios de evaluación económica.

Las variaciones de precios del mineral y/o de los costes de extracción y tratamiento imponen alteraciones en la ley de corte y el ritmo de producción. El método de extracción (explotación) debe ser bastante flexible para ajustarse a las variaciones económicas del mercado. Los gastos con los sueldos y los encargos sociales de la mano de obra usada en la exploración del depósito también son elementos fundamentales en estos cálculos. En el trabajo actual se han determinados todos los costes, gastos, inversiones y ganancias del emprendimiento a partir del proyecto piloto. Durante un período de 1 año costarán a la compañía € 92.801,00 como muestra la Tabla 27 abajo:

Tabla 27 - Gastos con sueldos y encargos sociales de los funcionarios en Euros.

Cargo	Número de Funcionarios	Sueldo Mensual (€)	Encargos Sociales (€)	Total Mensual (€)	Total Anual (€)
Ingeniero de Minas	1	1.515	1061	2.576	33.485
Secretaria	1	303	212	515	6.697
Técnico Blaster	1	303	212	515	6697
Perforador	1	390	273	662	8.610
Operador de Máquinas	2	519	364	1766	22.961
Mecánico	1	390	273	662	8.610
Vigilante	1	260	182	442	5.740
Total	**8**	**3.680**	**2.576**	**7.138**	**92.801**

De acuerdo con el Decreto Ley n° 227, de 28/02/1967 (Código de Mineração do Brasil), el propietario de la tierra donde se localiza el depósito tiene derecho a recibir royalty's de participación en las ganancias de la mina. Sin embargo, como es la compañía la propietaria del área donde está prevista la explotación, el valor que se refiere al impuesto de arrendamiento es nulo. Todos los cálculos acerca de las

inversiones para de instalación de la mina, insumos y costes operacionales necesarios, tasas y impuestos presentaron valores muy próximos en los dos métodos analizados en este estudio. Las Tablas 28 y 29 presentan los resúmenes generales con los principales datos económicos que componen el flujo de caja de la mina tras su desarrollo por medio del método de Cortas y por Transferencia (Descubiertas) respectivamente.

Tabla 28 - Respuestas económicas del proyecto piloto desarrollo Método de Cortas.

Tasa Interna de Retorno	=	56,53%
Valor Presente Líquido	=	€ 578.885
Payback (años)	=	1,68

Tabla 29 - Respuestas económicas del proyecto piloto desarrollo Método de Transferencia (Descubiertas).

Tasa Interna de Retorno	=	61,45%
Valor Presente Líquido	=	€ 670.427
Payback (años)	=	1,60

Se observa que el proyecto en que se aplica el método de explotación por Transferencia no solamente es viable desde el punto de vista económico, sino también genera mayores ganancias se comparado al caso donde se realiza la explotación minera por Cortas, cuando ambos son aplicados a la exploración de yeso en Pólo Gesseiro de Araripe.

Esto se debe a dos aspectos fundamentales identificados durante este estudio. El primer aspecto es que el método por transferencia (descubiertas) permite la total recuperación de la mena del yacimiento generando mayor factura y ganancias. El según está relacionado a los costes operacionales mayores generados por el transporte del material estéril en el caso del desarrollo minero por Corta, ya que la maquinaria destinada a los servicios de construcción de la escombrera tendrán que recorrer mayores trayectos y mover mayores cantidades de materiales. En la tabla 30 se halla un resumen comparativo con los principales elementos técnicos de acuerdo con el método adoptado.

Tabla 30 - Resumen comparativo respecto los principales aspectos técnicos y económicos entre los métodos de Cortas y transferencia.

Cortas x Transferencia				
Sector	**Descripción**	**Unidades.**	**Cortas**	**Transferencia (Descubiertas)**
Dados de Pesquisa	Volumen de Estéril	m³	402.799,50	453.681,50
	Volumen de Mena	m³	194.200,10	237.278,20
	Vida Útil	mes	76	93
		anos	7	9
	Tonelada de Estéril	ton	1.047.278,70	1.179.571,90
	Tonelada de Mena	ton	456.370,24	557.603,77
	REM (vol/vol)	-	2,07 : 1	1,91 : 1
	Recuperación	%	95,00	100,00
Económico	Facturación Anual	€	*623.376,62*	*623.376,62*
	Coste Anual de Operación	€	235.853,37	213.353,68
	Coste Anual con Recuperación Ambiental	€	12.467,53	12.467,53
	Estimativa Anual de Ganancias	€	*366.055,72*	*397555,41*
	Pasivo Ambiental	-	> (5,54%)	< (3,04%)
	Tasa Interna de Retorno	%	*54,57*	*59,56*
	Payback	año	*1,74*	*1,64*
	Valor Presente Líquido	€	*551.752,85*	*642.143,14*

6 - MINERÍA COMO GRAN GENERADORA DE IMPACTOS AMBIEBTALES

La minería es conocida como una actividad que normalmente genera un gran impacto ambiental a lo largo de su vida útil y durante todo el proceso de extracción, tratamiento mineral, como también de la deposición del rechazo. Estos impactos podrán ser positivos o negativos, ocasionando efectos temporales o permanentes de pequeña o gran magnitud, todavía administrables cuando son considerados en el plan de desarrollo de la mina.

Por ser la minería a cielo abierto una actividad que exige una aplicación considerable de maquinaria para atender sus necesidades de desarrollo, con el uso de vehículos pesados y aparatos de grande porte en su cotidiano, sus efectos sobre el medio ambiente causados por las grandes cantidades de combustible consumidas constituyen un grave peligro para los aguas superficiales y subterráneas. También tiene implicaciones en la producción de ruido y grandes cantidades de polvo, cuya dispersión

por el viento puede afectar poblaciones circunvecinas a toda la mina además de toda fauna y flora (Häberer, 2005)

6.1 - Marco legislativo en España, Cataluña y Brasil

Las Normativas legales con respecto a la protección medioambiental buscan mantener las características naturales de los ecosistemas que forman las diversas biotas existentes en cada región del mundo, de modo a asegurar el bien estar del ser humano. Usualmente, cada subdivisión política-administrativa de un país, sea ella una Comunidad Autónoma, Provincia o Departamento puede tener su propia legislación que convenga a los objetivos de protección medioambiental de acuerdo con cada caso. Sin embargo, tales Normas suelen seguir acuerdos internacionales que fijan directrices y procedimientos comunes. Por esta razón se presenta una versión general acerca de la legislación ambiental vigente en España, Cataluña y Brasil relacionados con el tema en estudio.

En el ámbito Europeo, la Directiva 2001/42/CE, del Parlamento Europeo, de 27 de junio de 2001, relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, establece las Normas Legales sobre la conservación, protección y mejora de la calidad del medio ambiente, a la protección de la salud de las personas y a la utilización prudente y racional de los recursos naturales, tras las políticas y actuaciones en materia de medio ambiente hasta el desarrollo sostenible de la sociedad.

La *Ley 9/2006*, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente dice “La exigencia de una evaluación ambiental de las actividades que probablemente vayan a producir impactos negativos sobre el medio ambiente apareció en el marco internacional en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, y posteriormente en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992. De ellas nacen buena parte de los tratados internacionales en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible, incluido también el derecho ambiental español y comunitario”.

El *Real Decreto legislativo 1/2008,* de 11 de enero, define la forma apropiada y conforme as particularidades de cada caso, como identificar, describir y evaluar los efectos directos e indirectos de un proyecto en la forma de una evaluación del impacto ambiental. En conformidad con esta ley, se debe tener en cuenta los siguientes factores:

a) El ser humano, la fauna y la flora;

b) El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje;

c) Los bienes materiales y el patrimonio cultural;

d) La interacción entre los factores mencionados anteriormente.

En España, la Ley 22/1973, de Minas establece que toda actividad minera, sea para explotación de minerales metálicos, no metálicos o para fines energético, como acción preventiva, debe aprobar ante el órgano responsable, un programa de restauración, antes del inicio de los trabajos mineros. Este ha de analizar e indicar soluciones a todos los efectos causados al medioambiente, para eliminarlo o disminuirlo a los valores permitidos reglamentados. Incluso está previsto el ingreso de una fianza para garantizar la realización de los labores de restauración del espacio degradado por la minería.

También se refiere al problema de los residuos el *Real Decreto 2994/1982*, de 15 de Octubre, sobre la restauración de espacios naturales afectados por actividades extractivas y el *Real Decreto 10/1998*, de 21 de abril, que tiene como objetivo prevenir la producción de residuos, estableciendo el régimen jurídico para la producción, gestión, fomento y reducción por este orden, además de la posible reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los residuos, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas. El Artículo 2 de la presente Ley hace referencia a la gestión de los residuos resultantes de la prospección, extracción, valorización, eliminación y almacenamiento de recursos minerales, así como de la explotación de canteras**.** El Gobierno es el responsable por establecer normas para la producción o gestión de los diferentes tipos de residuos.

El marco legal básico en Catalunya, referente a la protección y a la restauración de los espacios afectados por las actividades extractivas a cielo abierto, está constituido por la *Ley 12/1981*, de 24 de diciembre y por el *Decreto 343/1983*, de 15 de julio. Esta

ley establece normas adicionales de protección de los espacios de especial interés natural afectados por actividades extractivas y define las directrices básicas para la restauración de los espacios afectados por actividades extractivas para que, a lo termino de la explotación, sea posible la integración paisajística y ambiental al conjunto natural en que se encuentran. Ambas disposiciones se encuentran actualizadas por el *Decreto 202/1994*, de 14 de junio y por el *Decreto legislativo 14/1994*, de 26 de julio, que establecen normas adicionales al proceso evolutivo que han experimentado la gestión y el control de estas actividades desde 1983 de acuerdo con el marco legislativo básico de la *Ley 22/1973*, de 21 de julio, de minas.

En Brasil, el marco legal es la *Resolução Conama*[1]*001*, de 23 de janeiro de 1986 el cual define como impacto ambiental, en el Artículo 1º cualquiera alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas del medio ambiente sea causada por cualquier forma de materia o energía resultante de actividades humanas que, directa o indirectamente, afectan:

I A la salud, seguridad y el bienestar de la población;

II Las actividades sociales e económicas;

III La biota;

V Las condiciones estéticas y sanitarias del medio ambiente;

V La cualidades de los recursos ambientales.

Expone en el Artículo 2º, inciso IX, las extracciones minerales, como definidas en el Código de Mineração, como actividad modificadora del medio ambiente que dependerá de elaboración de estudio de impacto ambiental y respectivo Informe de Impacto Ambiental – RIMA con el Plan de restauración de área degradada - PRAD, sometidos a aprobación por el órgano estatal competente y el Instituto Brasileiro do Meio Ambiente –IBAMA, para licencia ambiental.

También describe los criterios y directrices básicas del proceso acerca de los Estudios de Impactos Ambientales - EIA y del Informe de Impactos Ambientales-RIMA en Brasil estableciendo definiciones, responsabilidades, criterios básicos y

[1] Conselho Nacional do Meio Ambiente.

directrices generales para el uso e implementación de la Evaluación de Impacto Ambiental como instrumento de la Política Nacional de Medio Ambiente.

En el EIA deberá figurar un análisis detallado de los impactos ambientales provocados por el proyecto, a través de identificación, previsión de la magnitud e interpretación de la importancia de los probables impactos. Discriminará los impactos positivos y negativos (benéficos y adversos), directos e indirectos, inmediatos y a mediano y largo plazos, temporales y permanentes; su grado de reversibilidad; sus propiedades acumulativas y sinérgicas; la distribución de los encargos y beneficios sociales, además de las medidas mitigadoras y alternativas y un programa de acompañamiento y monitoreo de los impactos.

Sin embargo, la explotación de yeso está clasificada según el Código de Mineração de Brasil como de clase II (sustancias minerales de empleo inmediato en la construcción civil) y así, de acuerdo con la *Resolução Conama 010/90*, de 06 de diciembre de 1990, que establece normas específicas para la licencia ambiental de extracción mineral, exime a las empresas de minería del Pólo de presentar un EIA/RIMA que en cambio, ha de presentar, al órgano ambiental del Estado, un Informe de Control Ambiental - RCI.

6.2 - Impactos ambientales de la minería a cielo abierto

Considerada como una actividad industrial insostenible por definición, en la medida en que la explotación del recurso supone su agotamiento, la minería a cielo abierto, a su vez, es considerada una actividad industrial de alto impacto ambiental, social y cultural, donde los más comunes son la destrucción de la vegetación nativa, procesos erosivos e impermeabilización de extensos áreas, desplazamiento y deposición de grandes volúmenes de tierra que alteran la morfología y drenaje del terreno, entre otros. También suele ocurrir la contaminación del agua superficial y subterránea, suelo y atmosférica, ocasionadas por la circulación y mantenimiento de la maquinaria, además de aquellos provocados en los trabajos de voladura (Ayala Carcedo & Vandillo, 2004).

Todo el proceso de exploración de una mina es compuesto por diversas etapas que conlleva a impactos ambientales particulares. La etapa de investigación de campo suelen producir daños medioambientales debido a la abertura de las vías de acceso,

montaje de campamentos e instalaciones auxiliares, trabajos geofísicos y construcción pozos de reconocimiento. También generan grandes impactos las etapas de preparación y desarrollo de las minas mediante instalación de la infraestructura de apoyo, de explotación minera y de tratamiento (Ayala Carcedo & Vandillo, 2004).

Los impactos sobre la flora implica la eliminación de la vegetación en el área de las operaciones mineras y área de deposición de estéril y almacenamiento del concentrado, así como la destrucción parcial o modificación de la flora en el área circunvecina, debido a la alteración del nivel freático. También puede provocar una presión sobre los bosques existentes en el área, que pueden verse destruidos por el proceso de explotación o por la expectativa de que éste tenga lugar. La fauna sufre los efectos de los ruidos y contaminación del aire y agua por la erosión de los amontonamientos de residuos estériles, afectando a la vida acuática (Farias, 2002).

Acerca de los impactos provocados sobre la población circunvecina a la explotación, se puede afirmar que la minería es capaz producir disputas por propiedad de tierras, crecimiento desorganizado y degradación de la infraestructura urbana de pueblos y ciudades, aumento de la población y uso inadecuado u ocupación desordenada del suelo (Farias, 2002).

6.2.1 Impactos causados por la minería en el Pólo Gesseiro

La mayor concentración de la actividad productora de yeso se encuentra en el estado de Pernambuco y según Pinheiro et al (2009) los problemas ambientales más relevantes del área son la deforestación descontrolado de la vegetación nativa (Caatinga) para la producción de carbón vegetal para abastecer a las calcinadoras de yeso allí instaladas, el abandono de los huecos de minas no activas, la formación de escombreras generadas por el método de extracción adoptado por las minerías, el cambio del paisaje, mudanza de la dinámica superficial y sub-superficial y el carácter *no sostenible* del proceso productivo.

Hay otro autor, Aguiar (2007), indica que el área donde se sitúa la mina objeto del estudio se encuentra en una región de extrema importancia desde el punto de vista ambiental por presentar un ecosistema bastante frágil y por detener manantiales subterráneos y superficiales del agua. La región de la Chapada de Araripe es

considerada por el IBAMA un Área de Preservación Ambiental - APA donde, en el centro está localizada la Floresta Nacional de Araripe con su entorno caracterizado por áreas de ambiente más degradado por la acción humana. Los principales impactos ambientales negativos causados por la actividad de minería de yeso en el Pólo Gesseiro de Araripe son:

- Transformación del paisaje provocada tanto por la abertura del hueco de la mina como por la acumulación de material resultante de la remoción de la cubierta vegetal y de suelo depositado en la superficie.

- Degradación y contaminación del suelo por el uso de explosivos, residuos lubricantes y combustibles, drenaje/erosión, además de alteración de la composición química y remoción de los nutrientes del suelo.

- Pérdida de la biodiversidad debida la deforestación y quemadas para apertura de del hueco de la mina y vías de acceso.

- Contaminación atmosférica (sonora, polvo y gases) y del agua generada por el uso de explosivos y movimiento de máquinas.

- Pérdida de patrimonio arqueológico.

Las actividades de minería normalmente generan un pasivo ambiental que representa un coste a la empresa durante, no sólo el periodo de vida útil de la mina, sino también tras su cierre. El mantenimiento de las obras de recuperación y rehabilitación ambiental deberá ser financiado por un porcentual de las ganancias del ejercicio, con destinación compulsoria, encaminado la inversiones en el área ambiental.

La reducción del volumen de las escombreras es considerada un punto clave de este estudio. Las grandes escombreras deben ser consideradas un caso aparte en un estudio de impacto ambiental dado su potencial de degradación. Generadora de casi todos los impactos provocados por el desarrollo de la mina, es responsable por contaminar suelo, aire y el agua, por la erosión de sus materiales de superficie bajo la acción de la lluvia y viento, además de alterar la topografía, con un impacto visual muy negativo. Sus impactos ambientales vuelven a surtir efecto no solamente en la biota

local, sino también en el rendimiento financiero de la empresa por medio del pasivo ambiental de la misma.

Para se tener una idea de las dimensiones de estas unidades de obras (huecos y escombreras), se presenta un cálculo aproximado del volumen de estéril generado por una explotación perteneciente a una empresa de mayor porte del Pólo Gesseiro del Araripe. Se ha tenido en cuenta un índice de aumento de volumen de 0,4, es de 2,52 millones de m^3 material estéril que ocupan un superficie entre 7.29 ha y 9.12 ha, formando grandes pilas de rechazo (escombreras) y huecos de aproximadamente 10 ha.

La Figura 22 muestra una imagen de satélite de las tres mayores minas del Pólo Gesseiro de Araripe.

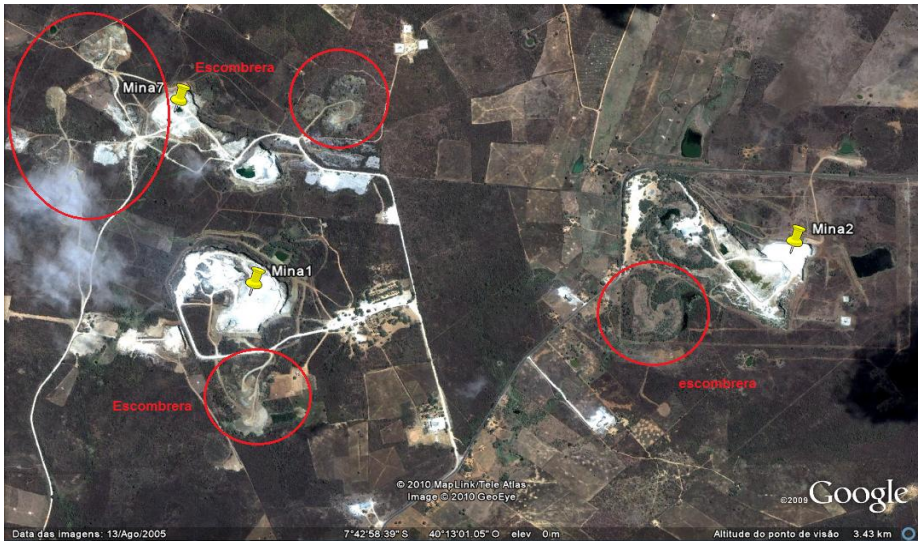

Figura 22 - Imagen del Google Earth del área donde están ubicadas las tres mayores explosiones del Pólo Gesseiro de Araripe.

6.2.2 - Imágenes de satélite como herramienta de monitoreo ambiental

Las empresas productoras de yeso instaladas en la Cuenca Sedimentaria de Araripe-Brasil son las responsables por generar los más graves impactos ambientales sobre el ecosistema de la región mientras que, las destinadas al tratamiento del yeso son responsables de gran parte de la destrucción de la vegetación nativa (Caatinga) por utilizar el carbón vegetal como combustible en el proceso de calcinación de mineral. Sin embargo, la explotación de yeso también tiene su parte en la acción degradadora sobre el medio. La remoción del revestimiento vegetal y la movilidad de grandes cuantidades

de tierra para expandir el hueco y viabilizar la extracción de la mena, así como la deposición del material estéril retirado de dentro de la mina provocan impactos ambientales de gran magnitud (Pinheiro et al., 2009).

Las herramientas de teledetección (el sensoriamiento remoto o los Sistemas de Información Geográfica) pueden ser aplicadas para identificar objetos y procesos en la superficie terrestre como cambios ocurridos sobre la vegetación, la calidad del agua, tipo o alteraciones en el suelo, de acuerdo con el espectro de radiación emitido por cada uno de estos (Teledetección, 2009).

En esta etapa del estudio fueron adoptadas imágenes del satélite Landsat TM, que capta la radiación refletada por cada tipo de material (suelo, vegetación, agua, etc) situado sobre la superficie respecto a las diferentes longitudes de onda, permitiendo distinguirlo de los demás. Las imágenes de la región donde encontrase el Polo Gesseiro de Araripe han sido utilizadas para análisis de la progresión de la degradación sobre el ecosistema de la Caatinga, desde el punto de vista biótico (vegetación) y abiótico. Son conjuntos de imágenes sacados del mismo sitio en dos períodos distintos en el tiempo separados en 15 años pero del mismo sitio. El primer conjunto de imágenes es de agosto de 1992 con el segundo realizado en mayo de 2007, generados por el sistema Landsat 5 TM, de centro en latitud 7.2407923 y longitud 39.9063123, posteriormente reducida para imágenes con 512x512 pixeles de resolución espacial 28,5m.

Para realizar el estudio de clasificación de los tipos de cubiertas del suelo fue utilizado como herramienta de interpretación de imagen el software Bilko-UNESCO, con lo cual se ha hecho combinaciones de 6 de las 7 bandas multiespectrales para producir imágenes en falso color que mejor posibilite la visualización de los tipos de cubiertas. Las que presentaron mejor respuestas fueron las (7, 3, 2) y (4, 5, 3) adoptadas en el trabajo.

El proceso de clasificación de las imágenes fue dividido en dos fases de análisis para los dos conjuntos de imágenes obtenidos, donde en la primera fase se ha utilizado el método de tratamiento no supervisado que no ha presentado datos conclusivos al estudio, mientras que, el tratamiento de imagen por medio del método de clasificación supervisada ha mostrado respuestas adecuadas al estudio. En una segunda fase del análisis se optó por utilizar solamente la banda espectral correspondiente al infrarrojo

próximo de cada conjunto de imágenes, por tener esta banda una reflectividad muy alta debido a la escasa absorción de energía por parte de las plantas. Los resultados presentados después de finalizado los análisis de las imágenes en las dos fases del trabajos fueron semejantes. Es posible observar que hay una reducción significativa del área clasificada como de vegetación y una expansión en el número y en la superficie de las explotaciones, como se puede ver en las Figuras 23 y 24.

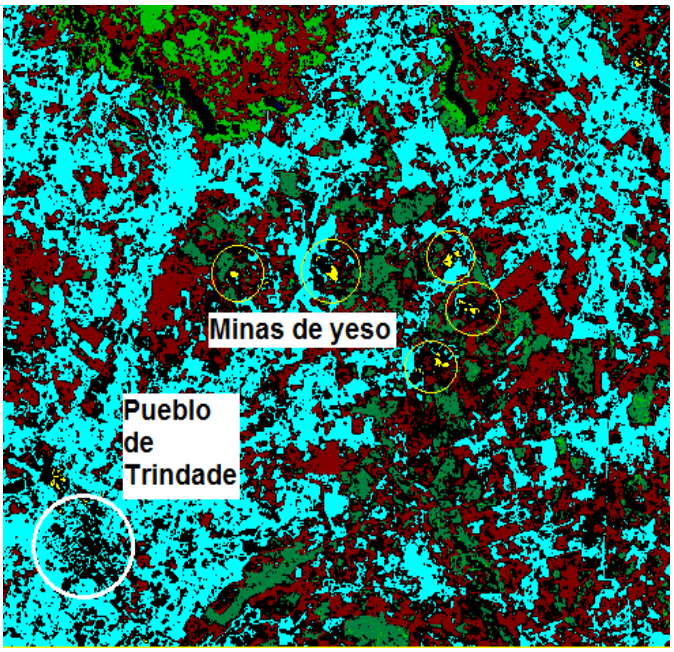

Figura 23. – Imagen de satélite donde están ubicadas las mayores explotaciones de yeso del Pólo Gesseiro de Araripe en 1992. Fuente: .

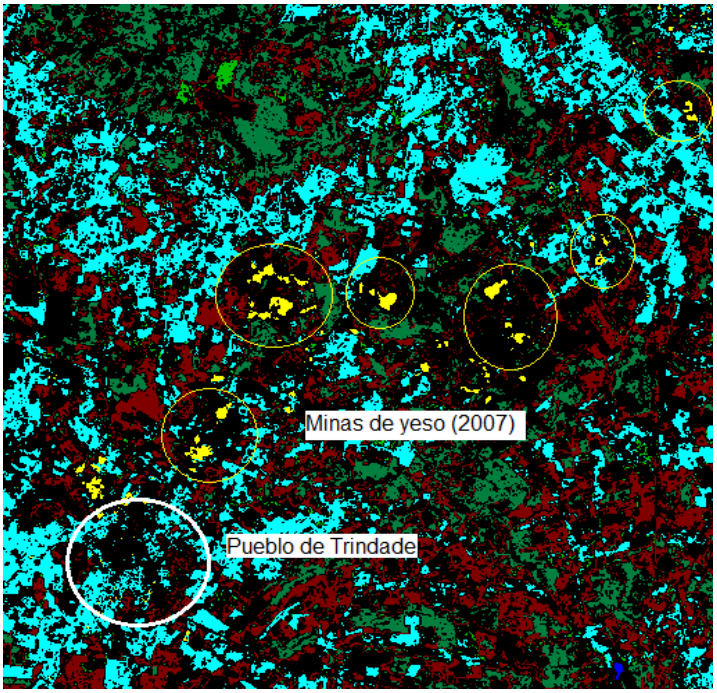

Figura 24. – Imagen de satélite donde están ubicadas las mayores explotaciones de yeso del Pólo Gesseiro de Araripe en 2007.

La hipótesis inicial de investigación es que la variación de las áreas clasificadas como vegetación nativa (Caatinga), están asociadas a los resultados obtenidos directamente con relación a las áreas de explotación de yeso, suelo desnudo y actividad agropecuaria. La diferencia entre las imágenes de 1992 y 2007, muestra un valor aproximado de la superficie desforestada, sea para generar material vegetal combustible para uso en la industria de calcinación del yeso, por expansión agropecuaria y por la minería durante este período.

Las imágenes seleccionadas para evaluación muestran que:

1) El área cubierta por la vegetación de Caatinga nativa ha sufrido una disminución de 72%.
2) Reducción de 61% del suelo agropecuaria;
3) Aumento de 51% de suelo desnudo;
4) Expansión de 350% del área clasificada como explotación de yeso e industria de tratamiento.

Los dos conjuntos de imagines seleccionados para análisis han sido obtenidos en distintas condiciones climáticas. El año de 1992 hecho parte de un largo período de 5

años de estiaje en la región, que ha afectado directamente el metabolismo de las plantas, reduciendo su fotosíntesis y la cuantidad de clorofila, como también, ocasionando la caída de las hoja, mientras que el año de 2007 ha presentando condiciones climáticas de elevado índice de precipitaciones, que favorecen el desarrollo de la vegetación. Estas condiciones deberían presentar resultados distintos a los encontrados en este estudio, teniendo en cuenta que el principal elemento de análisis, la vegetación, habría demostrado crecimiento de su área en respuesta a las mejores condiciones climáticas en 2007.

Pero, basado en los resultados obtenidos a través del análisis de las imágenes generadas por el Bilko, se puede pensar que la reducción del área con vegetación de Caatinga, realmente hay sido provocada por motivos de uso de la vegetación como combustible para atender a la industria de producción de yeso, o quizá por la expansión de la minería, ya que no hubo expansión de la actividad agropecuaria.

Lo que se ha podido verificar acerca de los impactos generados por la actividad industrial del yeso, es que se ha triplicado el área requerida por este tipo de actividad, y así, por supuesto, el impacto generado por la actividad de estas empresas en la región.

6.3 –Cierre y rehabilitación de la mina y el pasivo ambiental

La actual política global de desarrollo industrial, considera que la gestión de los recursos minerales debe realizarse con el objetivo de obtener tales recursos, al mismo tiempo que conserve el medio ambiente de una forma racional e integrada. Se debe a partir de ahora, considerar la explotación mineral, en todo su proceso productivo, como uso transitorio y no más terminal del terreno, haciendo necesario la rehabilitación equilibrada entre el desarrollo económico y la conservación medioambiental (Ayala Carcedo & Vandillo, 2004).

Las labores de recuperación de un área degradado durante el período de operación de una mina se realizan por medio de un conjunto de acciones y medidas que constituyen un plan de recuperación. Éstas se planifican de modo que después del cierre de la mina, tal área pueda presentar condiciones de reaprovechamiento productivo o estar en equilibrio ambiental con el ecosistema local. Es un proceso formado por un conjunto de actividades que pueden presentarse complejas, con aspectos de difícil cuantificación como son los casos: de la influencia del tiempo sobre los costes, la

evolución de la legislación ambiental y los planes de explotación de la empresa que pueden variar al gusto del mercado o del yacimiento. (Ayala Carcedo & Vandillo, 2004).

Ayala Carcedo & Vandillo (2004), Enseñan algunos elementos fundamentales que sirven como referencia y que se deben tener en cuenta en un análisis de influencia de costes sobre el presupuesto de un proyecto minero. Son estos:

- Estudio de impacto ambiental y/o proyecto de restauración.
- Preparación de documentos para la obtención permisos, licencias y aprobaciones.
- Reuniones con representantes de empresas prestadoras de servicio y órganos estatales competentes.
- Costes de restauración (mano de obra, maquinaría y materiales, obras estructurales, siembras etc.).
- Monitoreo y control ambiental a medio y largo plazo.

Tal proceso tiene su reflejo en la respuesta financiera de la Empresa, afectando también el pasivo/activo ambiental.

6.3.1 – Costes del cierre y rehabilitación

Los costes de implantación y gestión de los trabajos de cierre de una mina y la rehabilitación del área degradado por su actividad, deben estar adecuadamente contemplados en el plan financiero de la empresa de minería a través del PRAD, sometido al órgano ambiental competente para su aprobación o no. Los recursos financieros específicos para viabilizar económicamente los trabajos de cierre de la mina y rehabilitación del área, así como su ejecución son de única y total responsabilidad de la empresa minera poseedora del derecho de explotación y no pueden ser transferidos a los órganos gubernamentales o a la comunidad. Sin embargo, no son raros los casos de aprobación de PRAD’s en que no se incluye la estimativa de costes referentes a la rehabilitación del área en el cronograma físico y financiero de la empresa. También producen casos en que tampoco hay la constitución de fondo o cualquier otra forma de provisión financiera, habiendo el riesgo de que acabe sobre el gobierno o la comunidad, la responsabilidad por el cierre y rehabilitación de la finca (Costa et al, 2006).

Ya Ayala Carcedo & Vandillo (2004) afirma que “la evaluación económica de los trabajos de restauración de los terrenos afectados por las minas es un proceso complejo, ya que dentro de un planteamiento integral esta evaluación económica se debe entender como una parte más del análisis de costes y beneficios del proyecto minero, donde se incluyan tanto los costes directos como indirectos”.

Aún de acuerdo con los autores citado anteriormente, un otro aspecto importante que influye directamente los costes es la capacidad para realizar la restauración simultáneamente con la explotación minera, reduciendo los gastos necesarios para la construcción de las escombreras y posterior adecuación al ecosistema local. Pero, hay argumentos que afirman que la recuperación de terrenos degradados no es posible económicamente cuando se realiza simultáneamente al desarrollo de la mina. Sin embrago, cuando los costes de la restauración del terreno se contemplan como un gasto adicional a la producción mineral previsto en el plan financiero de la empresa, el porcentaje que representa es pequeño.

Algunos autores (Araújo, 2004; Ayala Carcedo & Vandillo, 2004) y profesionales que actúan en la minería afirman que los costes relacionados con las labores de restauración de los terrenos degradados cuando desarrollados conjuntamente, son menores en comparación a los valores presentados en explotaciones donde la recuperación es dejada para el final de la exploración de la mina. Estas labores suelen abarcar aproximadamente el 2,0 % de la facturación global de la empresa.

Sin embargo, cuando esto porcentaje (2,0%) es aplicado en el estudio económico de los dos métodos analizados en el proyecto piloto, se obtiene dos valores distinto. La posibilidad de recuperación del área a lo largo de la vida útil de la mina, permite que el coste de estas labores sea descompuesto durante esto período, así la influencia de estos costes sobre el financiero de la empresa es menor.

6.3.2 – El Pasivo Ambiental

Desde el punto de vista contable, pasivo viene a ser las obligaciones de las empresas con terceros, siendo que tales obligaciones, con o sin un cobro formal o legal, deben ser reconocidas. Ya en términos ambientales este el pasivo (ambiental) son los daños causados al medioambiente, los cuales corresponden judicialmente el responsable social de la empresa causante de los impactos ambientales. Los costes generados por las

obras y acciones mitigadoras o reparadora de tales daños al ecosistema deben constar en el balance patrimonial de la empresa incluido a través de cálculos estimativos junto con el activo que son bienes y derechos (incluso las aplicaciones de recursos que objetiven la recuperación del ambiente, bien como inversiones en tecnología de procesos de contención o eliminación de contaminación) (Ambientebrasil.com.br, 2010).

El Pasivo Ambiental supone un valor importante en la toma de decisiones en evaluaciones de negociaciones comerciales, ya que los gastos generados con las medidas mitigadoras de impactos y de restauración del medio ambiente pasaron a responsabilidad de los nuevos propietarios. Eso influye directamente en los trabajos para identificar, evaluar y cuantificar los riesgos y posibles costos ambientales que se deben cumplir a corto, mediano y largo plazo (Ambientebrasil.com.br, 2010).

La rehabilitación es un aspecto integral de las operaciones mineras e inicialmente debe tener en cuenta el uso final del terreno, dentro de una diversidad de usos finales posibles para un terreno degradado por las actividades mineras respetando las particularidades de cada caso. Dentro de estas posibilidades están el retorno a las condiciones iniciales de naturaleza pura o actividades agrícola-ganaderas, usos industriales, humedales, lagos o lagunas artificiales para uso recreativo o vertederos controlados.

7 – DISCUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

El ecosistema de la región del Semiárido brasileño es muy frágil y favorable a procesos erosivos y de desertificación. La deforestación de grandes áreas, el movimiento de grandes masas de tierra y la alteración de la morfología del área necesarios para los trabajos de desarrollo de la minería tiene como consecuencias la contaminación del suelo, del aire y del agua superficial y subterránea, la erosión de materiales de las escombreras y superficie del suelo desnudo por acción de la lluvia y por el viento asociados al tipo de suelo encontrado.

Tanto el desarrollo minero realizado por Cortas como por Transferencia, no presentan grandes diferencias acerca de los impactos ambientales provocados por sus labores individuales de explotación y tratamiento mineral, haya vista que tales

operaciones pueden ser perfectamente aplicadas a ambos métodos, como muestra el estudio de viabilidad del proyecto piloto que forma parte de este trabajo.

Sin embrago, el método por Transferencia, tipo descubiertas, por permitir que la explotación del yacimiento sea realizada por etapas donde el cuerpo mineral es subdivido en paneles, posibilita el vertido del material estéril en vertederos internos de la mina. Esto ofrece ventajas con relación al método de desarrollo por Cortas, actualmente utilizado por las empresas de minería del Pólo Gesseiro de Araripe.

A continuación se citan algunas de las principales ventajas de utilización del método por Transferencias:

- Menor riesgo de movimiento de tierra por la reducción de las dimensiones y carga de la escombrera exterior;
- Reducción de la acción erosiva y menor capacidad de sedimentación de ríos y lagunas debido a la disminución de la emisión de polvo por causa de la circulación de maquinaria;
- Reducción del área deforestada y mayor disponibilidad de sitios para ubicación de la escombrara exterior dado su menor tamaño;
- Reducción de costes con transporte del material estéril;
- La recuperación de áreas degradadas resulta sencilla pues durante la vida útil de la mina es posible hacer el relleno y remodelado total o parcial del hueco con material estéril, que con el proceso de rehabilitación y cierre de la mina se restablezca las condiciones naturales del ecosistema (terreno, flora y fauna) quedando éstas muy próximas a las originales.

Los principios de la producción responsable de bienes y productos consisten en la aplicación de estrategias económicas, ambientales y tecnológicas a través de la no-generación, minimización y reciclaje/reaprovechamiento de residuos generados en un proceso productivo. Teniendo en cuenta éstos, a fin de aumentar la eficiencia en el uso de materias primas, agua y energía, resulta razonable decir que el método por Transferencia es una alternativa viable para el desarrollo sostenible de la Región del Araripe, por promover técnicas más eficientes y con mejores resultados en el ámbito económico y ambiental que aquel actualmente utilizado.

El aprovechamiento económico continuado del área puede ser realizada a través de la agricultura, construcción de viviendas y creación de parques industriales o energéticos (vegetal/eólico/solar), o por medio de la rehabilitación del hueco final de mina para piscicultura, depósito de agua para consumo animal o para diferentes usos recreativos. Otra posibilidad es la restauración con la reintroducción del área al ecosistema local por medio de reforestación o creación de humedales, que proporcionan entre otras cosas, la reducción de gastos con tasas e impuestos medioambientales, mejor aceptación de la población local y reducción del pasivo ambiental.

La posibilidad de aplicación de esto método de explotación capaz de una mejor respuesta económica a un investimento minero en el Pólo Gesseiro de Araripe, puede atraer más empresas de minería al Semiárido pernambucano. Esto hará posible el desarrollo de la Región con la generación de nuevas oportunidades de empleo, mayores inversiones de capital en infraestructura, promoción del desarrollo social y menores impactos ambientales.

Los gobiernos, a través de mejorías en las Normas y Leyes ambientales, podrán fomentar mejores condiciones de vida a la población, con el aumento en la recaudación de impuestos, mientras que reduce los daños medioambientales causados por la minería.

Por fin, este estudio ha comprobado que la adopción del método de desarrollado minero de Cortas por banqueos múltiples (Open Pit) para extracción de yeso en el Polo Gesseiro de Araripe se mostró como una técnica económicamente aplicable, confirmando lo que tradicionalmente ya viene siendo hecho por las empresas de minería de la Región del Araripe. Sin embargo, el método por Transferencia (Strip Mining) se presenta más ventajoso tanto del punto de vista económico como también ambiental, siendo la aplicación del método actual (Cortas por banqueos múltiples) una cuestión de costumbre local.

Se puede concluir, que el impacto generado por el proceso de desarrollo de la mina puede ser considerablemente reducido por el simple hecho de cambiar la forma de explotación actualmente adoptada, generadora de grandes cuantidades de estériles depositados en la superficie, por otra menos impactante y que viabilice el posterior aprovechamiento del área explotada, lo que transformará la actividad extractiva, tenida

como dañosa y no sostenible, en una actividad que no solamente genera desarrollo inmediato, como también es proveedora de mejores condiciones medioambientales y de vida a la población después del final de su actividad.

8 - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO – CONDEPE-FIDEN (2010): *Região de Desenvolvimento Araripe*. http://200.238.107.167/c/portal/layout?p_l_id=PUB.1557.114. Accedido en 24/02/2010

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE PERNAMBUCO - AD Diper. (2010): *Regiões de Desenvolvimento de Pernambuco: RD Sertão do Araripe*. http://www.addiper.pe.gov.br/. Accedido en 24/02/2010

AGUIAR, LUCIANA R. (2007): *Avaliação da ecoeficiência de programas e projetos ambientais voltados às micro e pequenas empresas do Pólo Gesseiro do Araripe*, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Gestão e Políticas Ambientais Dissertação (Mestrado), Recife.

ALVERNE, ALARICO A. F. MONT'; MENOR, ELDEMAR DE A.; AMARAL, ANTÔNIO J. R. & SOUZA, VALDEMIR C. (1995): *Programa Nacional de Estudos dos Distritos Mineiros – Projeto Gipsita (Etapa 1)*, Departamento Nacional de Produção Mineral, 4° Distrito, Seção de Geologia e Pesquisa Mineral, Recife

ARAÚJO, SÉRGIO M. S. (2004): *O Pólo Gesseiro do Araripe: unidades geo-ambientais e impactos da mineração*, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências,Tese (doutorado), Campinas.

BRASIL (2006): *Anuário Mineral Brasileiro*, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília.

BRASIL (2009): *Economia mineral Brasileira*, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília.

BRASIL (1967): Lei n° 227, de 28/02/1967, *Código de Mineração do Brasil*, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

BRASIL (2009): *Mineração do Semiárido Brasileiro*, Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília.

BRASIL (2001): *O Universo da Mineração Brasileira – 2000: A produção das 1.862 minas no Brasil*, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília.

BRASIL (2002): *Portaria Nº 12 , de 22 de janeiro de 2002*, Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Ministério de Minas e Energia, Brasília.

BRASIL (1986): Resolução Conama Nº 001, de 23/11/1989, Ministério de Meio Ambiente, Brasília.

BRASIL (1990): Resolução Conama Nº 010, de 23/11/1990, Ministério de Meio Ambiente, Brasília.

BRASIL (2008): *Sumário Mineral Brasileiro*, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Brasília.

CATALUÑA (1981): *Ley 12/1981*, DOGC num. 189 de 31/12/1981, Departament de la Presidència,Barcelona.http://mediambient.gencat.cat/cat/el_departament/actuacions_i_serveis/legislacio/prevencio/llei_12_1981.jsp?ComponentID=26331&SourcePageID=4677 . accedido en 19-05-2010

CATALUÑA (1983): *Decreto 343/1983, DOGC.Nº 356*, de 19/08/1983, Departament de Politica Territorial i Obres Publiques,Barcelona. http://mediambient.gencat.cat/cat/el_departament/actuacions_i_serveis/legislacio/lleis/83.jsp?ComponentID=116064&SourcePageID=116292 . accedido en 18-05-2010

COMUNIDADE EUROPEIA, PARLAMENTO EUROPEO E DO CONSELHO: (2001), *Directiva 2001/42/CE*, Jornal Oficial das Comunidades Européias. http://www.povt.qren.pt/tempfiles/20080131103601moptc.pdf accedido en 19-05-2010.

DANA, EDWARD S. (1976): *Manual de Mineralogia*. Livros Técnicos e Científicos Ed. Rio de Janeiro, RJ.

DE LA VERGNE, JOHN (2000): *Hard Rock Miner's Handbook*, Mc Intosh Redpath Engineering, Arizona.

ESPAÑA (2006): *Ley 9/2006* de 28/04, *sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.* Ministerio de la Presidencia, Madrid. http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2006-7677. accedido en 19-05-2010

ESPAÑA (1973): Ley 22/1973, de 21/06, de Minas, Ministerio de la Presidencia, Madrid. http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l22-1973.t1.html. accedido en 19-05-2010

ESPAÑA (2008): *Real Decreto legislativo 1/2008, de 11/01*, Ministerio de la Presidencia, Madrid. http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rdleg1-2008.html. accedido en 19-05-2010

ESPAÑA (1982): *Real Decreto 2994/1982*, de 15/11, Ministerio de la Presidencia, Madrid. http://noticias.juridicas.com/base_datos/Derogadas/r0-rd2994-1982.html . accedido en 19-05-2010

ESPAÑA (1998): *Real Decreto 10/1998*, de 02/04, Ministerio de la Presidencia, Madrid. http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/l10-1998.t1.html. accedido en 19-05-2010

FARIAS, CARLOS E. G. (2002): *Relatório Mineração e Meio Ambiente no Brasil*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Ciência, Tecnologia e Inovação – CGEE/PNUD, Rio de Janeiro http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo011_02.pdf Accedido en 26/02/2010

FERNANDES, FRANCISCO R. C.; LUZ, ADÃO B.; MATOS, GERSON M. M. & CASTILHO, ZULEICA C. (2007): *Tendências Tecnológicas – Brasil 2015*,CETEM/MCT, Rio de Janeiro.

GERMANI, DARCY J. (2002): *A Mineração no Brasil Relatório Final*, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Ciência, Tecnologia e Inovação - CGEE/PNUD, Rio de Janeiro.

HÄBERER, HANS (2005): *Guía de Manejo Ambiental para Minería No Metálica*, Ministerio de Energía y Minas, Lima.

HARTMAN, HOWARD L. (1996): *SME Mining Engineering Handbook*, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Michigan.

HERNÁNDEZ, AURELIO M.; HERNÁNDEZ, PABLO L. & MARTÍNEZ, ALBERTO J. B. G. (2006): *Manual para la evaluación de impactos ambientales*, Innovación Civil Española, Madrid.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE (2010): *Ecossistemas Brasileiros: Caatinga*. http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm, accedido en 14/03/2010.

AYALA CARCEDO & VANDILLO (2004): *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1993): *Estudios de viabilidad en proyectos mineros*, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (2007): *Yeso*, Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales, Madrid.

LIMA, HERNANI M.; FLORES, JOSÉ. C. DO CARMO & COSTA, FLÁVIO L. (2006): Plano de recuperação de áreas degradadas versus plano de fechamento de mina: um estudo comparativo, *Revista Escola de Minas*, ISSN 0370-4467, Ouro Preto.

MACÊDO FILHO G. I. & PENA BOTELHO, L. J. (2009). *Estudo Comparativo de Lavra de gipsita pelos Métodos de Múltiplas Bancadas e Strip Mining com Utilização de Ferramentas Computacionais: Sítio Vira Mão – Araripina / PE*. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MINERAÇÃO TREVO (2002): *Relatório de Pesquisa Mineral. Gesso*,Mineração Trevo S. A., Submetido Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, Recife.

MORAES, DENISE (2010): *Bioma Caatinga*. Fundação Oswaldo Cruz - Fiocruz. http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=962&sid=2 accedido en 14/03/2010.

NASCIMENTO, DJAN C. (2007): *Recuperação Ambiental de Pilha de Estéril em Mina de Gesso*, Mestrado (Dissertação), Universidade Federal da Bahia, Salvador.

PINHEIRO, TAÍS S. DE M.; BITTAR, SHEILA M. B.; SILVA, YGOR J. A. B.; MORAES, FELIPE G. D. & SANTOS, MONALIZA A. (2009): *Características Físicas e Mineralógicas do Estéril da Mineração de Gipsita do Araripe, PE,* Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

PORTELA, HELENA A. (2008): Estudo Palinológico e palinofaciológico da Formação Santana, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, Mestrado (Dissertação), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RAMOS, F. S.& CIARLINI, A. G. C (2003): *Indústria nacional de gipsita e o impacto da globalização: qual a estrutura tarifária ótima?,* Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SOBRINHO, A.C.P.L.; AMARAL, A.J.R. & DANTAS, O.C. (2006) Gipsita. In: Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. *Sumário Mineral 2006*. Brasília, DNPM, p. 175-179.

SINDICATO DAS INDUSTRIAS DO PÓLO GESSEIRO DO ARARIPE (2009), http://www.sindusgesso.org.br/pólo_gesseiro.as, accedido en 19-06-09

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. 2009. Apuntes asignatura Teledetección 2009. Máster en Enginyeria dels Recursos Naturals-UPC.