



Proyecto Fin de Grado

YACIMIENTOS DE FOSFATOS: ORIGEN, UBICACIONES, APLICACIONES DE LOS DERIVADOS DE FOSFATOS Y DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

Para acceder al Título de
**GRADUADO EN INGENIERIA DE LOS RECURSOS
MINEROS**

Autor: **Iván Martínez Gutiérrez**
Director: **Ruben Perez Alvarez**

Marzo - 2013



INDICE



1.- PLANTEAMIENTO

1.1.- Introducción a los fosfatos

1.1.1.- Etimología

1.1.1.1.- Formula química y Propiedades físicas

1.1.1.2.- Descripción

1.1.1.3.- Localización de los principales depósitos fosfáticos

1.1.2.- Formas del fósforo

1.1.3.- El fósforo en la naturaleza

1.1.3.1.- El fósforo en el mundo vivo

1.1.3.2.- El ciclo global del fósforo y los flujos de fósforo

1.1.3.3.- Ciclo del fósforo en la naturaleza

1.2.- Mineralogía

1.2.1.- Rocas fosfáticas – fosforitas

1.2.1.1.- Minerales constitutivos

1.2.1.2.- Componentes de las rocas fosfáticas

1.2.1.3.- Tipos de depósitos fosfáticos

1.2.1.3.1.- Fosforitas nodulares y estratificadas

1.2.1.3.2.- Fosforitas bioclasticas

1.2.1.3.3.- Fosforitas conglomeraditas

1.2.1.3.4.- Guano

1.2.1.4.- Generación de las fosforitas

1.2.1.5.- Otros mecanismos de generación de las fosforitas

1.2.1.5.1.- Diagenesis

1.2.1.5.2.- Resedimentación – retrabado

1.2.1.6.- Secuencias de fosforitas antiguas

1.2.2.- Geoquímica

1.2.2.1.- Abundancia de los fosfatos y periodos fosfogénicos

1.2.3.- Óxidos y oxoácidos del fósforo

1.2.3.1.- Síntesis del ácido fosfórico

1.2.4.- Rocas fosfáticas en el mundo

1.3.- Antecedentes históricos

1.3.1.- Antecedentes en España

1.3.1.1.- El Horcajo

1.3.1.1.1.- Introducción

1.3.1.1.2.- Localización

1.3.1.1.3.- Historia

1.3.1.1.4.- Minería

1.3.1.1.5.- El desagüe

1.3.1.1.6.- Geología

1.3.1.1.7.- Descripción del yacimiento

1.3.1.1.8.- Mineralogía

1.3.1.2.- Aldea Moret

1.3.1.3.- Logrosán

1.3.2.- Antecedentes internacionales

1.3.2.1.- Bu-Craa



- 1.3.2.1.1.- Geografía del Sahara occidental
- 1.3.2.1.2.- Empresa Nacional Mineral del Sahara
- 1.3.2.1.3.- Yacimiento
- 1.3.2.1.4.- Fosfato del yacimiento
- 1.3.2.1.5.- Descripción de la explotación
- 1.3.2.1.6.- Instalaciones de la explotación
 - 1.3.2.1.6.1.- Explotación minera
 - 1.3.2.1.6.2.- Concentración
 - 1.3.2.1.6.3.- Transporte del mineral
 - 1.3.2.1.6.4.- Deposito regulador
 - 1.3.2.1.6.5.- Cargadero del mineral
 - 1.3.2.1.6.6.- Central eléctrica y distribución de energía
 - 1.3.2.1.6.7.- Instalaciones auxiliares
 - 1.3.2.1.6.8.- Obras sociales

1.3.2.2.- Bayóvar

1.4.- Aplicaciones y usos

1.4.1.- Niquelado químico

1.4.1.1.- Información general

1.4.1.2.- Tipos

- 1.4.1.2.1.- Níquel químico con concentración baja de fósforo
- 1.4.1.2.2.- Níquel químico con concentración media de fósforo
- 1.4.1.2.3.- Níquel químico con concentración alta de fósforo

1.4.1.3.- Ventajas e inconvenientes

1.4.1.4.- Propiedades físicas y mecánicas

- 1.4.1.4.1.- Microestructura y composición de las películas de NQP
- 1.4.1.4.2.- Uniformidad
- 1.4.1.4.3.- Punto de fusión
- 1.4.1.4.4.- Resistividad eléctrica
- 1.4.1.4.5.- Propiedades magnéticas
- 1.4.1.4.6.- Resistencia a la corrosión
- 1.4.1.4.7.- Resistencia al PH
- 1.4.1.4.8.- Dureza de la película
- 1.4.1.4.9.- Resistencia al desgaste
- 1.4.1.4.10.- Lubricidad
- 1.4.1.4.11.- Ductilidad
- 1.4.1.4.12.- Tensión interna

1.4.1.5.- Aplicaciones

- 1.4.1.5.1.- Automóvil
- 1.4.1.5.2.- Aeroespacial
- 1.4.1.5.3.- Electrónica
- 1.4.1.5.4.- Tratamiento químico
- 1.4.1.5.5.- Industria del petróleo y del gas



- 1.4.1.5.6.- Otras aplicaciones
- 1.4.2.- Fertilizante
 - 1.4.2.1.- Producción de fertilizantes
 - 1.4.2.2.- Clases de abonos
 - 1.4.2.3.- Clasificación de fertilizantes minerales
 - 1.4.2.4.- Impactos ambientales potenciales
 - 1.4.2.4.1.- Desechos sólidos
 - 1.4.2.4.2.- Reducción de los desperdicios
 - 1.4.2.4.3.- Amoniaco
 - 1.4.2.5.- Plantas de procesamiento
 - 1.4.2.5.1.- Proceso de fabricación
 - 1.4.2.5.2.- Control de la contaminación atmosférica
 - 1.4.2.5.3.- Control de la calidad del agua
 - 1.4.2.5.4.- Administración y capacitación
 - 1.4.2.5.5.- Monitoreo
 - 1.4.2.6.- Importancia del fósforo en el crecimiento y fisiología vegetal
 - 1.4.2.7.- Ciclo del fósforo y sus componentes
 - 1.4.2.8.- Fertilizantes utilizados en fertilización de cultivos de grano
 - 1.4.2.9.- Reacción de los fertilizantes fosfatados en el suelo
 - 1.4.2.10.- Mercado de los fertilizantes
- 1.4.3.- Fósforo (utensilio)
 - 1.4.3.1.- Historia
 - 1.4.3.2.- Fósforos de seguridad
 - 1.4.3.3.- Fósforos integrales
- 1.4.4.- Fósforo blanco
 - 1.4.4.1.- Aplicaciones
 - 1.4.4.1.1.- Agente para pantallas de humo
 - 1.4.4.2.- Efectos en los seres humanos
 - 1.4.4.2.1.- Efectos a la exposición de armas de fósforo blanco
 - 1.4.4.2.2.- Exposición e inhalación del humo
 - 1.4.4.2.3.- Ingestión oral
 - 1.4.4.3.- Estado de control de las armas
 - 1.4.4.3.1.- Regulaciones militares
 - 1.4.4.3.2.- Historia
 - 1.4.4.3.3.- Uso en Iraq
- 1.5.- Panorama del mercado de fosfatos
 - 1.5.1.- Panorama en el mundo
 - 1.5.2.- Panorama en España
 - 1.5.2.1.- Producción nacional
 - 1.5.2.2.- Reservas y recursos nacionales
 - 1.5.2.3.- Comercio exterior español
- 1.6.- Objeto del proyecto



2.- DESARROLLO

2.1.- Explotación y rehabilitación

2.1.1.- Explotación a cielo abierto

2.1.1.1.- Limpieza del área

2.1.1.2.- Explotación del horizonte fosfático

2.1.1.3.- Arranque hidráulico

2.1.1.4.- Tratamiento

2.1.1.5.- Rehabilitación

2.1.2.- Minería subterránea

2.1.3.- Ejemplo de explotación de un yacimiento fosfático

2.1.3.1.- ¿Cómo comienza la explotación?

2.1.3.2.- ¿Qué ocurre después de la explotación?

2.1.4.- Tratamiento del material fosfático

2.2.- Estudio de viabilidad de “El Horcajo”

2.2.1.- Localización de la planta

2.2.2.- Cálculos

2.2.2.1.- Calculo volumétrico de la escombrera de la mina

2.2.2.2.- Calculo de la producción de fosfatos

2.2.2.3.- Calculo del flujo de material en la planta

2.2.2.4.- Calculo de la maquinaria en la planta de tratamiento

2.2.2.4.1.- Tolvas

2.2.2.4.2.- Trituradora de mandíbulas

2.2.2.4.2.1.- Calculo del motor de la trituradora de mandíbulas

2.2.2.4.2.2.- Calculo de las dimensiones de la boca de admisión de la trituradora de mandíbulas

2.2.2.4.3.- Cintas transportadoras

2.2.2.4.3.1.- Dimensionamiento de cintas transportadoras

2.2.2.4.3.2.- Capacidad de las cintas

2.2.2.4.3.3.- Ángulos de carga

2.2.2.4.3.4.- Tamaño máximo del bloque

2.2.2.4.3.5.- Angulo de artesa

2.2.2.4.3.6.- Velocidad de las cintas

2.2.2.4.3.7.- Angulo de inclinación

2.2.2.4.3.8.- Calculo de potencia de accionamiento

2.2.2.4.3.9.- Calculo de las cintas transportadoras de la planta

2.2.2.4.4.- Calculo de las cribas vibrantes

2.2.2.4.5.- Calculo flotación

2.2.2.4.6.- Calculo de los acopios

2.2.2.4.7.- Calculo de suministro de energía eléctrica

2.2.3.- Maquinaria

2.2.3.1.- Fragmentación

2.2.3.1.1.- Energía necesaria para la reducción de tamaño



- 2.2.3.1.2.- Machacadora de mandíbulas
 - 2.2.3.1.2.1.- Trituradora de mandíbulas TURBO 1000x750
- 2.2.3.2.- Clasificación
- 2.2.3.3.- Flotación
- 2.2.3.4.- Operaciones auxiliares
 - 2.2.3.4.1.- Alimentadores
 - 2.2.3.4.2.- Transporte (cintas alimentadoras)
 - 2.2.3.4.3.- Distribución eléctrica
 - 2.2.3.4.4.- Almacenamiento
 - 2.2.3.4.4.1.- Tolva
 - 2.2.3.4.4.2.- Acopios
 - 2.2.3.4.5.- Bascula
 - 2.2.3.4.6.- Pala de carga
 - 2.2.3.4.7.- Camión
- 2.2.4.- Presupuesto
- 2.2.5.- Viabilidad económica
 - 2.2.5.1.- Calculo de los años de explotación de la escombrera
 - 2.2.5.2.- Calculo de los beneficios anuales

3.- SEGURIDAD Y SALUD

- 3.1.- Objeto del estudio
- 3.2.- Riesgos
 - 3.2.1.- Riesgos profesionales
 - 3.2.2.- Riesgos de daños a terceros
- 3.3.- Prevención de riesgos profesionales
 - 3.3.1.- Protecciones individuales
 - 3.3.2.- Protecciones colectivas
 - 3.3.3.- Formación
 - 3.3.4.- Medicina preventiva y primeros auxilios
 - 3.3.5.- Prevención de riesgos de daños a terceros
- 3.4.- Pliego de prescripciones
 - 3.4.1.- Legislación sobre riesgos
 - 3.4.2.- Condiciones de los medios de producción
 - 3.4.2.1.- Protecciones individuales
 - 3.4.2.2.- Protecciones colectivas
 - 3.4.3.- Medidas de seguridad generales en instalaciones de tratamiento
 - 3.4.4.- Medidas de seguridad durante el arranque y funcionamiento de la instalación de tratamiento
 - 3.4.5.- Normas generales y particulares de seguridad indicadas por el fabricante suministrador de la maquinaria
 - 3.4.5.1.- Precauciones generales
 - 3.4.5.2.- Precauciones particulares
 - 3.4.5.3.- Precauciones colectivas
 - 3.4.6.- Tolva de recepción. Riesgos y su prevención



- 3.4.7.- Alimentadores. Riesgos y su prevención
- 3.4.8.- Maquinaria de fragmentación. Riesgos y su prevención
- 3.4.9.- Cintas transportadoras. Riesgos y su prevención
- 3.4.10.- Riesgos generales
 - 3.4.10.1.- Contacto eléctrico directo e indirecto
 - 3.4.10.2.- Atrapamiento por órganos móviles de las transmisiones
 - 3.4.10.3.- Caídas a distinto nivel
 - 3.4.10.4.- Elevado nivel sonoro
 - 3.4.10.5.- Inhalación de polvo
- 3.4.11.- Operaciones de mantenimiento
- 3.4.12.- Servicios de prevención
 - 3.4.12.1.- Servicio técnico de seguridad y salud
 - 3.4.12.2.- Servicio medico
 - 3.4.12.3.- Comité de seguridad y salud
- 3.4.13.- Vigilante de seguridad
- 3.4.14.- Instalaciones medicas
- 3.4.15.- Instalaciones de seguridad y salud
- 3.4.16.- Plan de seguridad y salud
- 3.4.17.- Abono de las unidades de obra

- 3.5.- Presupuesto
 - 3.5.1.- Protecciones individuales
 - 3.5.2.- Protecciones colectivas
 - 3.5.3.- Protecciones contra incendios
 - 3.5.4.- Instalaciones de higiene y bienestar
 - 3.5.5.- Medicina preventiva y primeros auxilios
 - 3.5.6.- Presupuesto de seguridad y salud

4.- IMPACTO AMBIENTAL

- 4.1.- Introducción
- 4.2.- Identificación y valoración de impactos
 - 4.2.1.- Identificación de impactos
 - 4.2.2.- Valoración de impactos
 - 4.2.2.1.- Ruidos de maquinaria
 - 4.2.2.2.- Partículas en suspensión
 - 4.2.2.3.- Alteraciones edafológicas
 - 4.2.2.4.- Intrusión visual de la nueva obra
- 4.3.- Propuesta de medidas protectoras y correctoras
 - 4.3.1.- Establecimiento de medidas protectoras
 - 4.3.1.1.- Control de emisiones de polvo durante las obras
 - 4.3.2.- Medidas correctoras
 - 4.3.2.1.- Revegetación
- 4.4.- Programa de vigilancia ambiental
- 4.5.- Documento de síntesis



5.- CONCLUSIONES

6.- BIBLIOGRAFÍA

PLANOS:

- 1- PLANO SITUACION PLANTA
- 2- PLANO SITUACION PLANTA (2)
- 3- DISEÑO GENERAL DE LA PLANTA
- 4- DISEÑO GENERAL DE LA PLANTA
- 5- PERFILES DEL TERRENO



1. -PLANTEAMIENTO



1.1. -INTRODUCCIÓN A LOS FOSFATOS



Los fosfatos son minerales con alto contenido de fósforo, un elemento fundamental para los organismos vivos. Los fosfatos se encuentran en la naturaleza concentrados en las "rocas fosfáticas", de las cuales pueden extraerse para su utilización industrial. Rocas fosfáticas es el nombre comercial para rocas que contienen uno o más minerales fosfáticos, generalmente del grupo del apatito, cuya base es el fosfato de calcio. Estas rocas pueden utilizarse en forma directa como fertilizantes, o como fuente de fosfatos y de fósforo, para lo cual son sometidas a tratamientos de concentración y depuración, expendiéndose finalmente como productos comerciales.

El fósforo es uno de los elementos vitales para la agricultura y para la vida en general ya que forma parte de todas las cadenas alimenticias, pasando de un organismo a otro. El fósforo interviene en casi todas las reacciones químicas, ya sea en compuestos minerales como en combinaciones orgánicas (lecitina, fitinas, proteínas). En las plantas puede encontrarse dentro de la composición del fosfolípidos y del ácido nucleico. La falta de fósforo reduce la producción de granos y semillas y su deficiencia disminuye el valor alimenticio de éstos. El hombre adquiere el fósforo de las plantas, directa o indirectamente a través de los animales. Las plantas lo absorben de la solución del suelo, o fase acuosa del suelo, así como la mayoría de los demás elementos. Normalmente un suelo puede poseer fósforo para sostener la vida vegetal, pero muchas veces éste es insuficiente para suplir la demanda de los cultivos, cada vez con mayor potencial de rendimiento, producto de la investigación y desarrollo en genética vegetal. Por esa razón, el fósforo debe agregarse como fertilizante ya que no hay otra fuente disponible en la naturaleza que, además, reponga el fósforo que se extrae por las cosechas. Asegurar la producción de alimentos para la humanidad actual y la población futura dependerá de los fertilizantes.

La industria transforma las rocas fosfóricas que contienen el fósforo poco soluble, en formas iónicas aprovechables por las plantas que lo absorben del suelo en forma de ión H_2PO_4 . Por esta importancia, los componentes minerales o materias primas son estratégicos para la industria de fertilizantes. De hecho, el primer fertilizante industrial de la historia, el superfosfato simple se hizo en Inglaterra en 1842. Hacia la mitad del siglo diecinueve el fósforo era el principal nutriente que limitaba la producción agrícola.



El origen de la industria de fertilizantes fosfatados proviene de los residuos de la industria frigorífica, cuando Sir John Bennet Lawes de Rothamstead procesó con ácido sulfúrico los restos de las carcasas para transformar el fosfato tricálcico de los huesos. Patentó así la manufactura del superfosfato simple en 1842 instalando la primera fábrica de producción comercial en Londres al año siguiente. En E.E.U.U., el fosfato de amonio fue producido por primera vez en 1916; pero fue el proceso económico y eficiente para fabricar ácido fosfórico introducido por Dorr Oliver y el equipo técnico del Tennessee Valley Authority (TVA) al final de los 1950 lo que llevó a convertir el uso en Norteamérica del superfosfato simple a superfosfato triple y luego a los fosfatos de amonio. Los trabajos del TVA en los 50 y 60 en la producción del ácido polifosfórico y procesos relacionados proveyeron métodos seguros y económicos para producir soluciones y suspensiones con fosfatos.



La distribución de los recursos minerales de rocas fosfóricas continua siendo muy similar a lo aplicado hace dos o tres décadas. Sin embargo, los avances de la globalización, y la coordinación de las cadenas agroindustriales y la integración vertical entre productores de fertilizantes y usufructuarios de los derechos de los yacimientos de fosfatos ha hecho que existan cada vez más fusiones y menos conglomerados industriales de grandes fabricantes de fertilizantes. Hace no hace más de veinte años existían cientos de fábricas de fertilizantes, por ejemplo el Instituto del fósforo y el potasio de EEUU, contaba con 18 empresas productoras de fertilizantes solo en EE.UU y Canadá. Hoy día unas siete empresas representan más del 40 % de la producción



mundial de fósforo (sobre la base de P_2O_5). Latinoamérica es un importante demandante de fosfatos y su creciente importancia como proveedora de alimentos al mundo hace

que se potencie el rol estratégico de la industria de fosfatos a pesar de que sus reservas conocidas en los depósitos no son de gran magnitud comparadas con las EEUU, las de China, las de Rusia, las del norte de África (Marruecos, Sahara Occidental, y Túnez y las de Asia Menor (Israel y Jordania).



1.1.1. -ETIMOLOGÍA

1.1.1.1. -FÓRMULA QUÍMICA Y PROPIEDADES FÍSICAS

La fuente mineral potencial de fósforo más importante en el suelo es el apatito, que proviene de la palabra griega *apatao*, que quiere decir equivocar, porque se confundía con algunas gemas.

Elemento: Fósforo P

Mena: Apatito $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3$ (F, Cl, OH, O).

- **Sistema:** Hexagonal.
- **Hábito:** se presenta en masas granudas y compactas y en cristales prismáticos largos, generalmente terminados por pirámides.
- **Color:** tiene una amplia gama de colores, según los cationes que contenga, variando del amarillo, el más común, al verde, azul o violeta.
- **Raya:** blanca.
- **Brillo:** vítreo.
- **Dureza:** 5.
- **Densidad:** 3,1 - 3,2.



1.1.1.2. -DESCRIPCIÓN

En la naturaleza existen numerosos minerales del grupo de los fosfatos (250 aproximadamente) pero la mayoría de ellos son muy raros y sin ninguna importancia económica. Geológica y técnicamente es un mineral importante, principal portador del ácido fosfórico en el reino mineral; muy difundido en todo tipo de yacimientos del más variado origen, por su importancia como elemento constitutivo de las rocas eruptivas de toda especie y acompañante de los minerales metálicos.

El apatito, tiene al menos tres formas dependiendo del anión presente: fluorapatita, cloroapatita e hidroxiapatita $[\text{Ca}_5(\text{F,Cl,OH})(\text{PO}_4)_3]$. Normalmente el apatito se encuentra concentrado en depósitos denominados fosforita o roca fosfatada.

La fertilidad potencial natural de los suelos respecto al fósforo, depende de la cantidad de apatito, proveniente de los materiales parentales que contengan en sus fracciones de limo y arena.



1.1.1.3. -LOCALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES DEPÓSITOS FOSFÁTICOS

Venezuela cuenta con importantes depósitos fosfáticos del Cretáceo y del Terciario Superior, los cuales se encuentran bajo minería con miras a producir materia prima para la industria de los fertilizantes y petroquímica.

Se han ubicado depósitos comerciales de fosfatos en Falcón, Zulia y Táchira, y algunas manifestaciones en Lara, Mérida y Trujillo. Muy posiblemente, en vista de sus características litológicas, la extensa Formación Querecual del Oriente del país puede poseer secuencias fosfáticas.

Estado Falcón: los depósitos se localizan a lo largo de una extensa faja, que se extiende desde Lizardo hasta Santa Cruz de Bucaral. Todos los depósitos se asocian con la Formación Capadare, una unidad del Mioceno, la cual cubre una extensa superficie de Falcón suroriental. Los depósitos de Lizardo constituyen varios mantos casi horizontales, intercalados con arcillas y calizas de la Formación Capadare; gran parte de estos depósitos afloran a lo largo del cerro Chichiriviche. Genéticamente en el yacimiento se identifican dos tipos de fosfato: uno aluminico y otro de calcio. El horizonte de fosfato aluminico, normalmente se ubica en el tope del nivel superior,



mientras que el fosfato de calcio se encuentra en un segundo nivel a mayor profundidad. En la región de Sanare-Yaracuybare los depósitos se caracterizan por sus pequeñas dimensiones, se extrema lenticularidad y su íntima relación con dolomitas parcialmente silicatadas. En la región de Sanare las secuencias fosfáticas constituyen pequeños cuerpos sumamente tectonizados debido a fallamientos que han truncado totalmente la secuencia normal de la formación. Los restos de los niveles de fosfato se ubican en contacto con dolomitas macizas, uniformes y ricas en sílice de carácter tectónico. En la zona de Yaracuybare, los depósitos de fosfatos en forma lenticular se extienden por más de 200 m, con espesores superiores a los 5 m. Se encuentran en contacto con dolomitas masivas, densas, coherentes y con conglomerados dolomítico-calcáreos. En Riecito, la explotación se ha realizado para la producción de superfosfato y ácido fosfórico. Estos depósitos son los más conocidos en el Estado Falcón.

Depósitos de roca fosfática del Estado Táchira: en la región central las unidades fosfáticas se asocian a la Formación La Luna, una típica unidad del Cretáceo Superior, la cual se encuentra en contacto con las formaciones Capacho y Colón. Una de las secciones más completas de esta unidad, la cual aflora en la Quebrada Zorca, presenta dos miembros bien característicos: uno lutítico inferior y uno superior calcáreo-ftanítico. Las lutitas del miembro inferior son finamente laminadas, de color gris claro a oscuro y negro, muy duras parcialmente calcáreas y bien estratificadas en capas delgadas. En este miembro abundan las típicas concreciones elipsoidales de caliza negra, dura, fosilífera y piritosa. El miembro superior está constituido esencialmente de caliza laminar, negra, fosilífera, carbonácea, bituminosa, y calizas ftaníticas en las cuales se aprecia una transición gradual de caliza a la caliza-ftanítica. En la parte superior de la sección, se encuentran horizontes de ftanita negra, muy dura, de lustre vítreo y fractura concoidal, en capas delgadas que generalmente no exceden de 0,20 m de espesor. Intercalados en las calizas-ftaníticas y ftanitas, se encuentran los horizontes de fosforita uraníferas en capas generalmente gruesas, bien estratificadas, de textura oolítica y color gris claro a oscuro, muy densas bituminosas, calcáreas y con apreciable contenido de detritos arenáceos y ftaníticos. De acuerdo a los estudios de campo, se han ubicado capas fosfáticas en las zonas de La Llanada, Lobatera, La Molina, La Blanca,



Las Adjuntas, San Jacinto, Berlín, El Pueblito, El Corozo y al norte del pueblo de Independencia (Carmona, 1955, en RODRÍGUEZ, 1986). Como consecuencia de los estudios realizados en la región suroriental del Estado Táchira, fueron ubicadas importantes zona fosfáticas entre las poblaciones de Abejales y Navay. Geológicamente, la zona se caracteriza por la presencia de rocas cretáceas, las cuales pertenecen a la cuenca sedimentaria Barinas-Apure, donde las rocas del Cretáceo se pueden dividir en dos partes: una sucesión Barremiense-Turonense integrada por las formaciones Río Negro, Aguardiente y Escandalosa (esta última, equivalente lateral glauconítico de la Formación Capacho), y otra sección del Cretáceo Superior integradas por las formaciones Navay (portadora de fosfatos) y Burgüita, equivalente de la formaciones La Luna y Colón de la cuenca sedimentaria denominada Surco del Uribante.

Depósitos de roca fosfática de Mérida Central: aquí se encuentra una importante faja de roca fosfática que se extiende por más de 70 Km., desde Jají hasta Las Hernández, atravesando las áreas de Chiguará y Zea.

Geológicamente el horizonte fosfático está asociado con el Miembro Tres Esquinas, parte superior de la Formación La Luna. El nivel económico varía en espesor entre 1,50 y 3 m y las características estructurales regionales hacen que la capa varíe en buzamiento desde más de 45° hasta casi horizontal. Mineralógicamente la mena está constituida por colofano, el cuarzo y la glauconita los minerales esenciales.



Depósitos de roca fosfática del Estado Zulia: tiene una importante reserva de rocas fosfáticas asociadas con la Formación La Luna. Las características estratigráficas litológicas, mineralógicas de estas secuencias, son similares a los niveles fosfáticos ubicados y estudiados en la región central del Estado Táchira.

En el Estado Zulia, el intervalo fosfático de mayor importancia debido a su extensión y caracteres tectónicos se ubica a lo largo de la región más oriental de la Sierra de Perijá. Otras zonas de esa Sierra, especialmente aquellas ubicadas hacia la región noroccidental, cerca de la frontera con la República de Colombia, presentan también intervalos fosfáticos de importancia económica.

El intervalo ubicado en la zona oriental de la Sierra de Perijá, se extiende desde la Quebrada La Luna, al oeste de la Villa del Rosario, hasta el pueblo de Los Ángeles del Tocuco, a lo largo de una faja de 75 Km.

Tectónicamente, la faja a diferencia de las zonas fosfáticas del Táchira Central, no presentan muchos trastornos estructurales con la excepción de la región de los ríos Aponcito, Maracón y Cogollo. El intervalo fosfático se asocia exclusivamente con las secuencias de *chert* de la Formación La Luna. Las capas de fosfatos se ubican preferentemente en la parte superior de la unidad, con espesores que varían entre 0,50 y 1 m , e intervalos de hasta 2 m de capas delgadas de fosforita intercaladas con calizas laminares, cuyo contenido de P_2O_5 es superior al 5%. En el contacto superior de esta



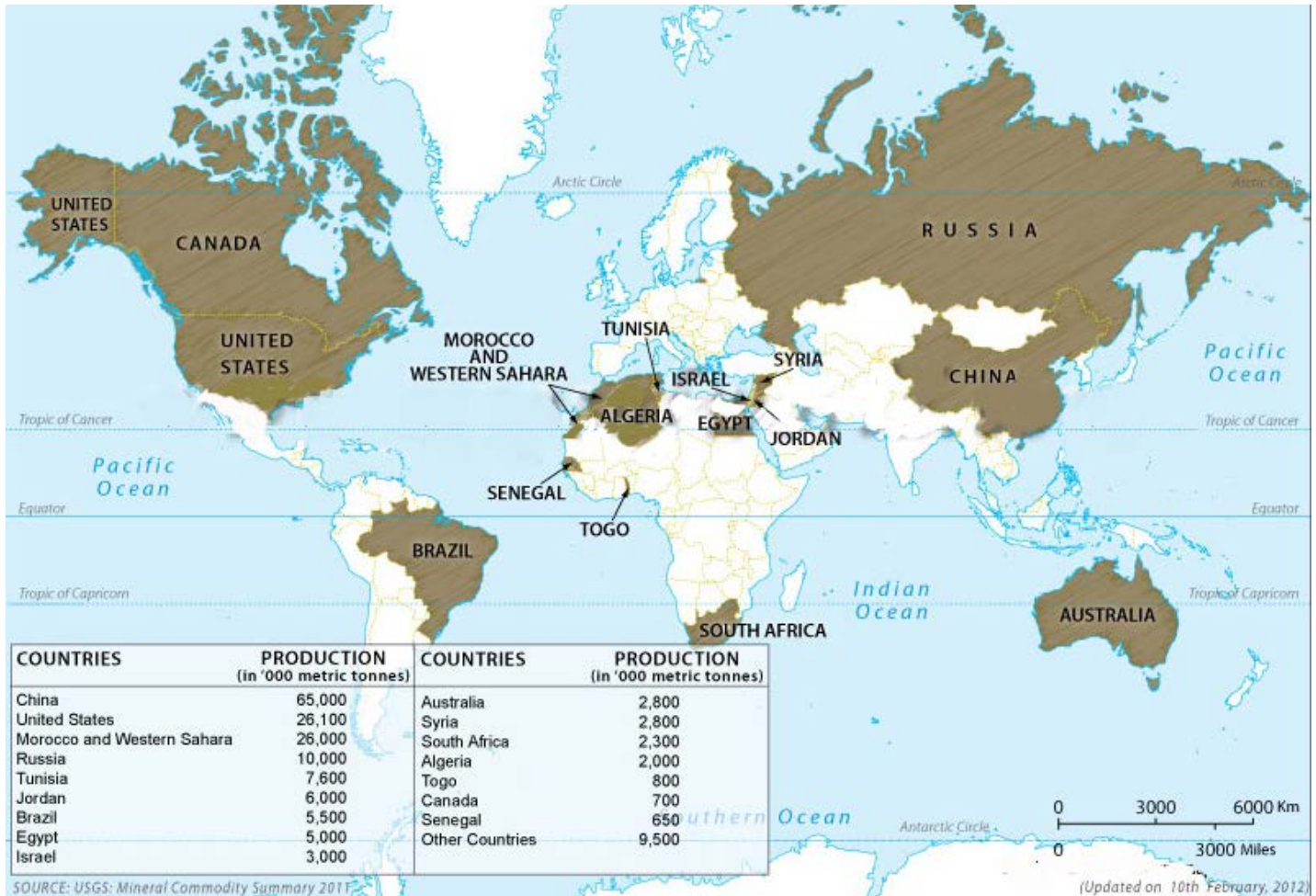
Iván Martínez Gutiérrez – Curso de adaptación al Grado en Ingeniería de los Recursos Mineros.

Yacimientos de Fosfatos: Origen, Ubicaciones, Aplicaciones de los Derivados de Fosfatos y

Diseño de una Planta de Tratamiento

formación, ocurre un intervalo glauconítico de gran extensión regional y espesor promedio de 7 m, cuya parte basal contiene valores de P_2O_5 superiores al 15%.





Mapa de los principales países productores de fosfato



1.1.2. -FORMAS DEL FÓSFORO

Desde el punto de vista químico el fósforo puede encontrarse como:

- Fósforo inorgánico.
- Fósforo orgánico.
- Fósforo adsorbido.
- Fósforo asimilable.

La disponibilidad está determinada por los siguientes factores:

- pH del suelo
- Fe, Al, y Mn solubles
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles
- Cantidad y descomposición de materia orgánica
- Actividad de microorganismos

Todos estos factores están influenciados por el pH de suelo. La máxima disponibilidad del P ocurre para pH entre 6 y 7.

A pH bajos, suelos ácidos, existe en solución Fe, Al y Mn que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. También existe la fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La fijación por silicatos-arcillas, se realiza en condiciones de moderada acidez.

En suelos alcalinos, los fosfatos precipitan con el Ca de cambio y con el de CaCO_3 .



La dependencia del comportamiento del fósforo con el pH se resume a continuación:

- a pH = 3-4. Mínima solubilidad.
- a pH > 4 el fósforo disminuye la capacidad fijadora.
- a pH = 5,5 mucho del fósforo está químicamente combinado con Fe y Al.
- a pH = 6 comienza la precipitación como fosfato cálcico
- a pH = 6,5 se forman sales de Ca insolubles por lo que el fósforo no es disponible.
- a pH > 7 puede formarse incluso apatito como ejemplo de compuestos muy insolubles.



1.1.3. -EL FÓSFORO EN LA NATURALEZA

1.1.3.1. -EL FÓSFORO EN EL MUNDO VIVO

El fósforo (P) es un elemento fundamental para todas las formas de vida en la tierra, y forma parte tanto de los procesos metabólicos como de los esqueletos. Es un elemento estructural en el ADN, en el ARN y en muchas enzimas (por ejemplo ATP, ADP, AMP). Los fosfolípidos participan en la construcción de las membranas de las células y en la médula de los huesos, los fosfágenos participan en la contracción de los músculos y el ácido fosfoglicérico contribuye a la fotosíntesis. Los huesos y dientes de vertebrados están constituidos por minerales de fósforo, y algunos invertebrados construyen sus conchillas con fosfato (P_2O_5), aunque estos organismos fueron más comunes en el pasado que en la actualidad, ya que la mayor parte se encuentran extintos. El cuerpo humano necesita unos 650 g de fósforo en promedio, mientras que algunos cultivos, bacterias y virus necesitan contenidos relativos todavía más altos para su actividad normal.



Cuerpo humano (alrededor de 1 kg en total)	1%
Huesos de pescado	hasta 35%
Conchillas de braquiópodos inarticulados	34 a 42%
Virus y bacterias	6,8 a 11,5%
Cianofitas (peso seco)	0,5 a 1,2%
Leche	2,0%
Cultivos	
Trigo	1,03%
Maíz	0,91%
Arroz	0,80%
Porotos de soja	1,60%
Hongos	2,63%
Tomates	1,48%
Suelo	0,02 a 0,09%
Guano	4,0%
Arenisca	0,08 a 0,27%
Pelita	0,11 a 0,33%
Caliza	0,03 a 0,18%
Roca fosfática sedimentaria	20 a 30%
Roca fosfática ígnea	18%

*Contenidos de Fosfato de organismos, suelos y sedimentos en % de P_2O_5
(%P * 2,2914 = % P_2O_5).*



El fósforo es el elemento número 11 en abundancia en la corteza terrestre, con un promedio de 0,01 %. Se encuentra principalmente en la materia orgánica dispersa, en los sedimentos y rocas sedimentarias, y como el mineral apatito de las rocas magmáticas. El contenido de fósforo de la mayoría de las rocas sedimentarias es más alto que en el promedio de la corteza.

El papel fundamental que juega el fósforo en todos los organismos vivo y su relativa escasez hacen que se constituya en un elemento biolimitante, regulador de la producción biológica que puede desarrollarse en un determinado ambiente. Esta relación entre el fósforo y los organismos es la que define su importancia como fertilizante en cultivos, y de allí la de los fosfatos y fosforitas como recursos naturales.



1.1.3.2. -EL CICLO GLOBAL DEL FÓSFORO Y LOS FLUJOS DE FÓSFORO

El fósforo, como todos los elementos que constituyen la corteza, es permanentemente reciclado, es decir se mueve de un lugar (o reservorio) a otro, en forma de un flujo más o menos continuo.

Para comprender el desarrollo de los sistemas sedimentarios fosfáticos resulta fundamental definir los mayores reservorios y flujos de fósforo en la biosfera. Es importante tener en cuenta que estos son modelos generales que ignoran las variaciones estacionales y los efectos climáticos y que los flujos pueden haber variado mucho a lo largo de la historia del planeta.

Precipitación de polvo atmosférico	3 a 4
Disuelto en ríos	1,5
Suspendido en ríos	9 a 14
Glaciares	1
Erosión costera	0,2
Vulcanismo	2 a 3

Descarga de fósforo en los océanos actuales en 10^6 t/año.

Los mayores reservorios de fósforo en el ciclo natural de este elemento son los océanos profundos, los sedimentos marinos someros y los suelos. Los mayores flujos tienen lugar entre la superficie del océano y la biota oceánica, y entre los suelos y la biota terrestre. En estas "biocuplas" se recicla prácticamente el 90% del fósforo móvil. Como el fósforo es un elemento biófilo, tiene tiempos de residencia relativamente breves en los ambientes con gran bio-producción (se entiende por tiempo de residencia el tiempo promedio que una molécula de P permanece en un determinado reservorio, valor que se obtiene dividiendo el volumen del reservorio por el flujo anual), como por ejemplo 0,75



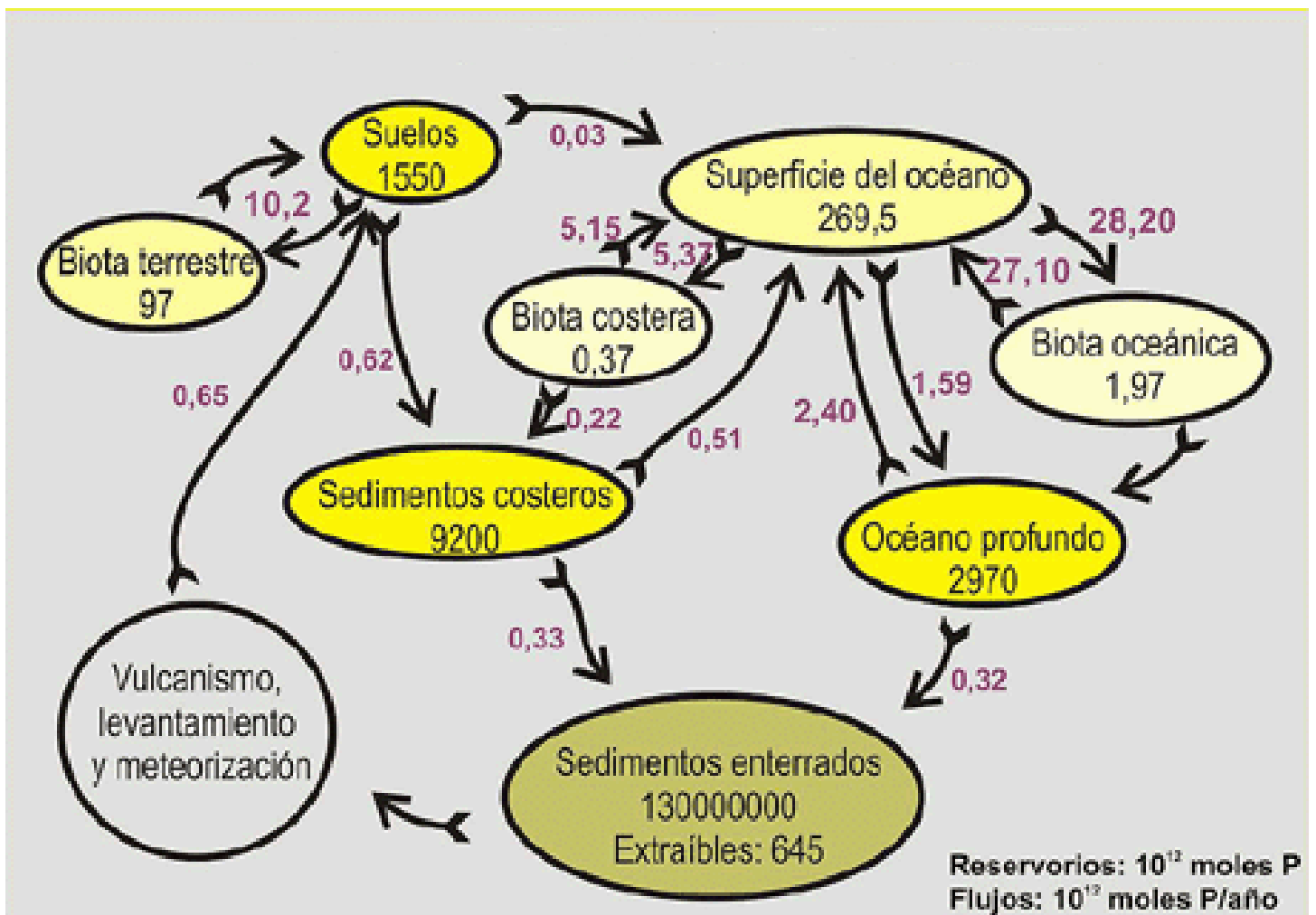
años en las aguas costeras, 8,8 años en la superficie del océano y 39 años en los suelos orgánicos. Estos tiempos se incrementan a valores de 11.000 años en los sedimentos marinos someros, en los cuales existen las tasas máximas de enterramiento.

El vulcanismo produce la "recarga" de fósforo al ciclo superficial, compensando la salida que se produce por el enterramiento de sedimentos con fosfatos. Cuando estos sedimentos ingresan en una zona de subducción y se funden, el fosfato regresa a la superficie en forma de gases volcánicos y de minerales magmáticos. Estos últimos, a su vez, se alteran y meteorizan cuando las rocas vuelven a la superficie.

Debido al fenómeno de biocupla, el contenido de fósforo libre en la superficie del océano es bajo, ya que los organismos consumen grandes cantidades de fósforo. Por lo contrario, las aguas profundas son ricas en fósforo, porque la materia orgánica que cae al fondo como producto de la muerte de los organismos supera el consumo en ese lugar. En ciertos casos, la estratificación térmica o salina de las aguas impide la mezcla con las aguas superficiales y por lo tanto permite el almacenamiento de P.

Las zonas de surgencia (*upwelling*) son los puntos en los cuales las aguas profundas del océano llegan a la superficie, principalmente a lo largo de las costas occidentales de los continentes en latitudes bajas (por la circulación oceánica). También puede existir una surgencia dinámica debido a intensas corrientes producidas por la configuración de los continentes y por el relieve local del fondo.

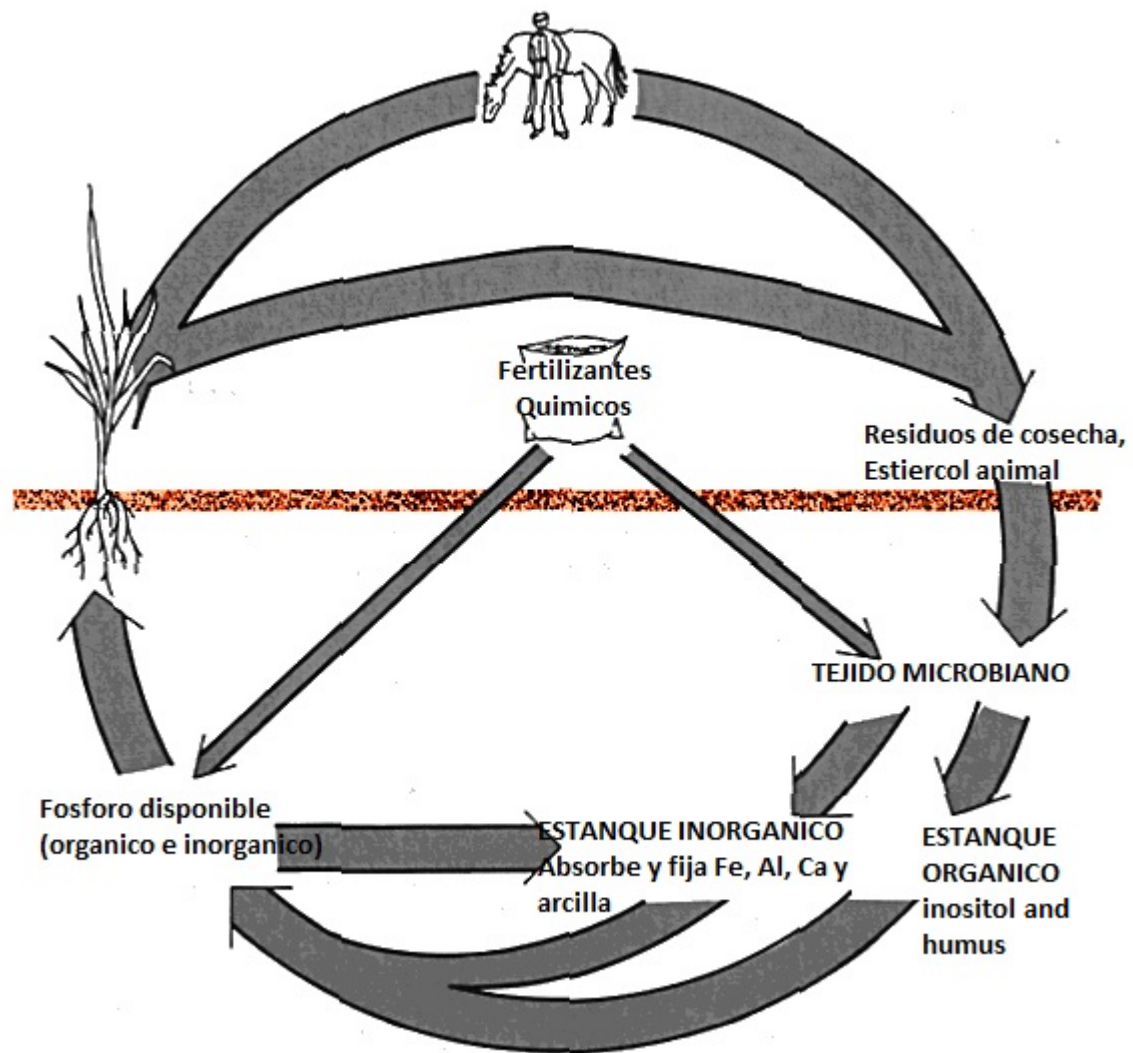
En las zonas de surgencia la elevada cantidad de nutrientes produce gran actividad biológica y por lo tanto gran cantidad de materia orgánica que se hunde allí. Si el agua está estratificada se produce anoxia en el fondo por la consumición del O₂, que no se renueva por mezcla con aguas superficiales. Los sedimentos de fondo se enriquecen en P. El agua superficial también está enriquecida en P, con respecto al agua normal del océano, en un factor de 10 a 20. También se verifica, en general, que el contenido de P orgánico e inorgánico disuelto en el agua superficial del océano se incrementa en las zonas costeras y polares. La distribución de fosfatos en suelos es aún más variable. Puede alcanzar valores de hasta un 20%, pero en la mayoría de los suelos hay unas pocas unidades porcentuales.



Ciclo global del fósforo en el planeta

1.1.3.3. -CICLO DEL FÓSFORO EN LA NATURALEZA

El ciclo del fósforo en el suelo se esquematiza a continuación.



Ciclo del fósforo en el suelo



Los residuos de cultivos, desechos humanos, animales, abonos y fertilizantes químicos son las principales fuentes de fósforo. Dos estanques principales de fósforo están presentes en el suelo: un estanque orgánico que se encuentra en humus y residuos vegetales y microbianos y un estanque inorgánico insoluble de Ca, Fe y compuestos de Al. En un suelo mineral representativo el 40-60% del fósforo que se encontraría en cada uno de los estanques orgánicos e inorgánicos, aproximadamente el 1-2% esta en forma microbiana y tal vez el 0,01% en la forma disponible.

En la siguiente figura se representan las ganancias y pérdidas del fósforo asimilable en el suelo.



Representación de las ganancias y pérdidas del fósforo asimilable en el suelo

El nivel de fósforo disponible en el suelo se agota y se repone. Las dos principales características son la adición de fertilizantes de fosfato y la fijación de este elemento en formas insolubles. La cantidad de fósforo disponible en el suelo en un momento dado es relativamente pequeña, especialmente cuando se compara con la de calcio, magnesio y potasio.



1.2. -MINERALOGÍA



El fósforo es el elemento que ocupa el lugar once en el orden de abundancia en la corteza terrestre. Está asociado con calcio, sodio, flúor, aluminio, magnesio, metales pesados (p.e. cadmio) y radionucleidos como el U. Casi todos los elementos de la Tabla periódica pueden estar representados en una roca fosfática

Está el presente en la mayoría de las rocas en cantidades minoritarias, pero en un tipo especial de rocas fosfáticas, denominadas fosforitas (fosfatos sedimentarios marinos) el contenido de P_2O_5 generalmente excede el 18% y puede, en ocasiones, llegar al 40%. Esto último ocurre cuando la composición química se aproxima a la del Carbonato-flúorapatita $[Ca_5((PO_4, CO_3)_3F)]$. Se presenta en costras, esferulitas y nódulos en horizontes sedimentarios, constituyendo masas de rocas fosfáticas o la porción mineral de huesos y dientes de vertebrados, el nombre original para tales especies era colofana.

Los minerales del grupo de la apatita de origen sedimentario son microcristalinos y difieren considerablemente de las especies minerales "puras" que componen al grupo. Esto obedece a las elevadas sustituciones de CO_3 por PO_4 y de otros metales por el Ca^{2+} . En el caso que hayan tenido lugar estas sustituciones, con contenidos de $F > 1\%$ y apreciables cantidades de CO_2 reciben el nombre de francolitas (McConnell, 1973). La francolita es estructural y químicamente compleja. El grupo puede ser representado por la fórmula simplificada $Ca_{10}[(PO_4)_6 - x(CO_3)_x]F_{2+x}$. El valor x es variable entre 0,39-1,36 con un promedio de 0.75 y puede exceder, en ocasiones, 1,90 (Trappe, 1998). El fosfato es uno de los nutrientes primarios en el mar, y es uno de los que controla la productividad orgánica, Se encuentra disuelto en el agua de mar como ortofosfato, o como partículas contenidas en los restos orgánicos. Las mayores concentraciones se encuentran en áreas costeras, estuarios o en cuencas marinas anóxicas actuales o antiguas.



Mayor al 50% (18% P ₂ O ₅)	Fosforita
Mayor al 20% (8% P ₂ O ₅)	Roca fosfática
Menor al 20% y mayor al 5% (2-8% P ₂ O ₅)	Roca ligeramente fosfática

Nomenclatura de rocas fosfáticas de origen sedimentario

Los componentes no fosfáticos comunes en las fosforitas son cuarzo, arcillas (illita, caolinita y esmectita) carbonatos (dolomita y calcita), glauconita, entre otros.

Existe un segundo grupo minoritario de origen ígneo asociado a complejos alcalinocarbonatíticos que difieren de las fosforitas tanto en su mineralogía, como textura y características químicas. En general el contenido de P₂O₅ es menor. La relación de abundancia fosfatos ígneos sobre sedimentarios es 13: 87.

La apatita asociada a las rocas ígneas puede ser primaria o secundaria. Más allá que la apatita primaria se encuentra asociada a minerales de alta temperatura, también aparece en los últimos estadios magmáticos asociado a depósitos pegmatíticos (50°-100°C). Los minerales más comunes asociados a depósitos magmáticos son fluorapatita (Ca₁₀(PO₄)₆F₂) , hidroxilapatita (Ca₁₀(PO₄)₆OH₂) y cloroapatita (Ca₁₀(PO₄)₆Cl₂). Dentro de los minerales más comunes asociados en los complejos ígneos alcalinos se hallan: nefelina, feldespatos alcalinos, micas, piroxenos y anfíboles ricos en Fe y Mg. En algunos depósitos como los de Kola, Rusia la apatita se encuentran como un componente cristalino dentro de la roca ígnea.

En muchos casos, los depósitos primarios se alteran parcial o totalmente bajo condiciones cercanas a la superficie (meteorización) dando como consecuencia cambios químicos, mineralógicos y texturales. Estos depósitos ígneos sometidos procesos de meteorización (ej: laterización en Brasil), dan como resultado depósitos de tipo residual. Las apatitas secundarias son comunes en zonas de meteorización o enriquecimiento supergénico de yacimientos ígneos. Estas apatitas son generalmente microcristalinas y pueden presentar cierto grado de sustitución por aluminio y hierro como por ejemplo



cranealita ($\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$), wavellita ($\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), strengita ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), entre otros.

Por el otro lado las fosforitas varían su grado de compactación desde muy inconsolidados a parcialmente cementados o altamente indurados. En general los depósitos fosfáticos sedimentarios más jóvenes que no han sufrido un soterramiento profundo y principalmente están compuestos por partículas de carbonato-flúorapatita (CFA), se presentan inconsolidados, en cambio, el soterramiento produce tanto cambios texturales como mineralógicos. En ese caso, la roca se torna menos porosa, más compacta y más consolidada. Los fosfatos sedimentarios sometidos a alta presión, y tal vez a mayor temperatura generan una nueva categoría, las rocas fosfáticas metamórficas; esto también puede ocurrir desde el extremo de las rocas ígneas.



1.2.1. -ROCAS FOSFÁTICAS-FOSFORITAS

Son rocas compuestas por el anión PO_4^{-3} . Su contenido en P_2O_5 es superior al 15%.

Los depósitos con menor tenor de P_2O_5 (entre el 1% y el 15%) son adjetivados como fosfáticos: por ejemplo lutitas fosfáticas, calizas fosfáticas.

Las fosforitas no son abundantes en el registro geológico, pero tienen importancia económica.

Se encuentran en la totalidad del registro sedimentario, desde el precámbrico a los tiempos presentes.

Las fosforitas aparecen tanto en ambientes marinos como continentales. No obstante, sus más importantes acumulaciones corresponden a especies marinas y lacustres.

Hay controversias importantes en cuanto al origen de las fosforitas, ya que las concentraciones en aguas normales (marinas) son solo de 70 ppb de P_2O_5 , en tanto que los depósitos de fosforitas antiguas pueden tener hasta un 40% de P_2O_5 .



1.2.1.1. -MINERALES CONSTITUTIVOS

Los principales minerales son: Carbonato apatita $[\text{Ca}_{10}\text{CO}_3(\text{PO}_4)_6]$ y Apatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})]$, con las variedades:

- Fluorapatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$
- Clorapatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}]$
- Hidroxilapatita $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}]$

Colofanita (apatitas amorfas, y sin una composición química definida)

La apatita es hexagonal, tiene alto índice, baja birrefringencia, habito prismático, extinción paralela y ópticamente negativa.

A modo de impurezas, las fosforitas pueden tener cuarzo detrítico, ftanita autigena (opalo CT), calcita, dolomía, argilominerales, ceolitas, materia orgánica descompuesta.



1.2.1.2. -COMPONENTES DE LAS ROCAS FOSFÁTICAS

Los componentes pueden ser clasificados como los de las sedimentitas carbonáticas.

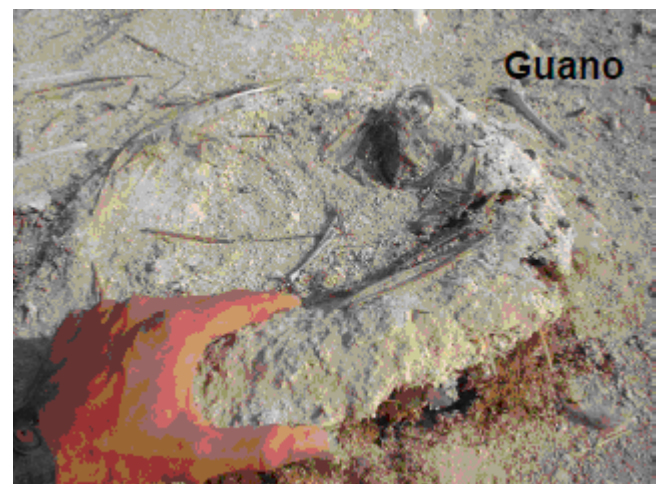
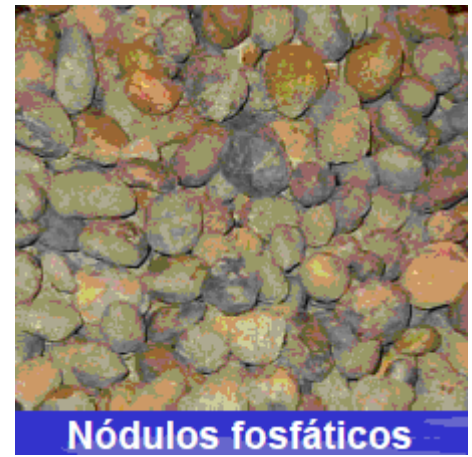
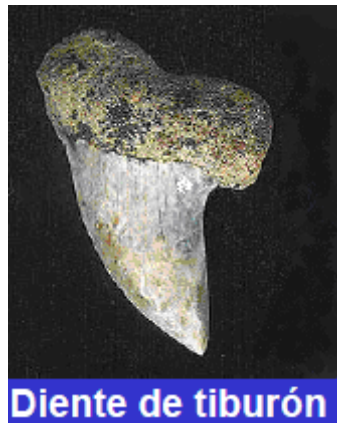
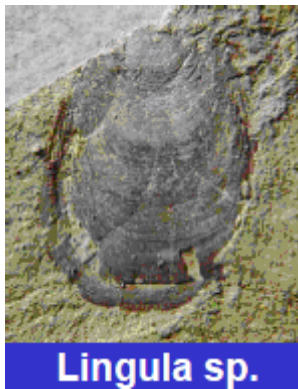
Prevalecen los individuos no terrígenos, entre los que se reconocen componentes autígenos y alotígenos (alóquemes).

Las fosforitas están esencialmente constituidas por peloides (pellets fecales y pequeños nódulos de precipitación coloidal) y fragmentos esqueléticos: bioclastos fosfáticos (braquiópodos inarticulados), huesos, dientes de vertebrados. También aparecen, en forma subordinada, ooides e intraclastos. Hay también individuos de textura muy fina, criptocristalina, que constituyen depósitos o rellenan intersticios, y son equivalentes a las micritas.

Los nódulos fosfáticos pueden tener más de 2 mm de diámetro y hasta varias decenas de centímetros son también comunes, y muestran formas esféricas, ovoidales y aplanadas en sentido paralelo a la estratificación.



- Componentes fosfáticos biogénicos y depósitos:



Componentes fosfáticos biogénicos y depósitos



1.2.1.3 -TIPOS DE DEPÓSITOS FOSFÁTICOS

1.2.1.3.1. -*FOSFORITAS NODULARES Y ESTRATIFICADAS*

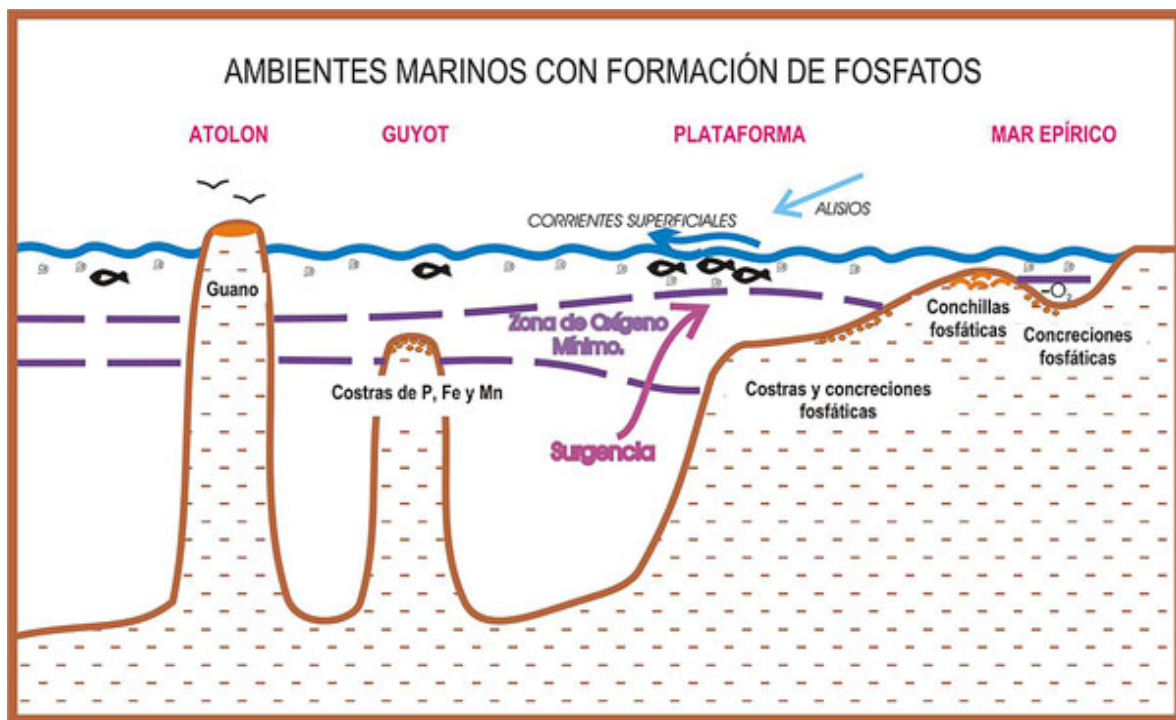
De espesores variables, asociadas con capas de fangositas carbonosas, ftanitas y sedimentitas carbonáticas. Suelen estar compuestas por aloquemes (pellets, ooides, restos de braquiópodos fosfáticos) y cemento. Se los considera depósitos de ambientes marinos de plataforma, vinculados con corrientes de surgencia (upwelling).

La presencia de depósitos fosfáticos en el fondo del mar es conocida desde la expedición oceanográfica del Challenger, alrededor de 1870, cuando se extrajeron nódulos y costras fosfáticas en la plataforma continental y en el talud al sur de África. Los depósitos fosfáticos actuales o recientes presentan formas de nódulos, costras o losas, que se han formado en el fondo marino, a profundidades de entre 60 y 300 metros, en áreas de baja tasa de sedimentación en la parte exterior de las plataformas submarinas o en la parte superior de los taludes continentales. Los nódulos varían entre unos pocos centímetros hasta metros de diámetro, muestran una estructura interna que va desde homogénea hasta concéntrica, y a menudo se encuentran asociados con restos de vertebrados y de peces.

El origen de los depósitos fosfáticos en el mar está principalmente vinculado a las zonas de surgencia (*upwelling*), en donde las aguas frías de los fondos oceánicos, ricas en nutrientes y por lo tanto en fosfatos, ascienden a la superficie generando mayor productividad orgánica (especialmente en forma de plancton). Esto a su vez puede generar aguas anóxicas cerca del fondo, debido a que la materia orgánica es muy abundante y, al degradarse, consume el oxígeno disuelto en el agua.



La surgencia es un rasgo típico de latitudes medias y se desarrolla fundamentalmente a lo largo del talud continental, al oeste de los continentes, pero también en zonas en donde el fondo marino muestra topografía irregular. La presencia de "zonas de contenido de oxígeno mínimo" en las plataformas submarinas permite la sedimentación de la materia orgánica que, al degradarse por la acción de las bacterias, libera fosfato.



Ambientes marinos con formación de fosfatos.

La precipitación del fosfato se produce a partir de soluciones o, más probablemente, a partir de la impregnación y reemplazo de un sustrato por parte de coloides ricos en fosfatos. Esto da origen a los nódulos y costras que se forman en el fondo marino o a pocos centímetros de profundidad por debajo del mismo. En las zonas anóxicas se produce mortalidad en masa de los peces, lo que contribuye a la formación de horizontes enriquecidos en fosfato.



Para que el fosfato se concentre formando horizontes o capas fosfáticas, es necesario el retrabajo de los sedimentos por parte de tormentas o de corrientes oceánicas que eliminan las partículas más finas permitiendo la concentración de los fosfatos en forma de nódulos, pellets y coprolitos. Los episodios transgresivos y regresivos del mar favorecen la concentración de fosfatos. Durante los primeros, la baja tasa de sedimentación permite la acumulación de fosfatos en secuencias condensadas, junto con cherts, fangos orgánicos, glauconita, calizas pelágicas y fondos duros (*hardgrounds*). Durante las regresiones se producen situaciones favorables para el retrabajo mecánico y la concentración de las partículas fosfáticas.

1.2.1.3.2. -FOSFORITAS BIOCLASTICAS

Fragmentos esqueléticos de vertebrados (huesos y escamas de peces, dientes de tiburón, coprolitos) y de invertebrados (conchillas de braquiópodos), con cementos que pueden también ser fosfáticos.

1.2.1.3.3. -FOSFORITAS CONGLOMERADITAS

Fosfatos nodulares y de fósiles fosfáticos concentrados por procesos de retrabajamiento mecánico.

1.2.1.3.4. -GUANO

Son depósitos producidos por acumulaciones de excrementos de aves, lixiviados para formar un residuo insoluble de fosfato de calcio. Los excrementos de los pájaros y en menor medida de los murciélagos, pueden acumularse formando grandes costras en ciertas islas oceánicas, por ejemplo en el Pacífico Oriental.

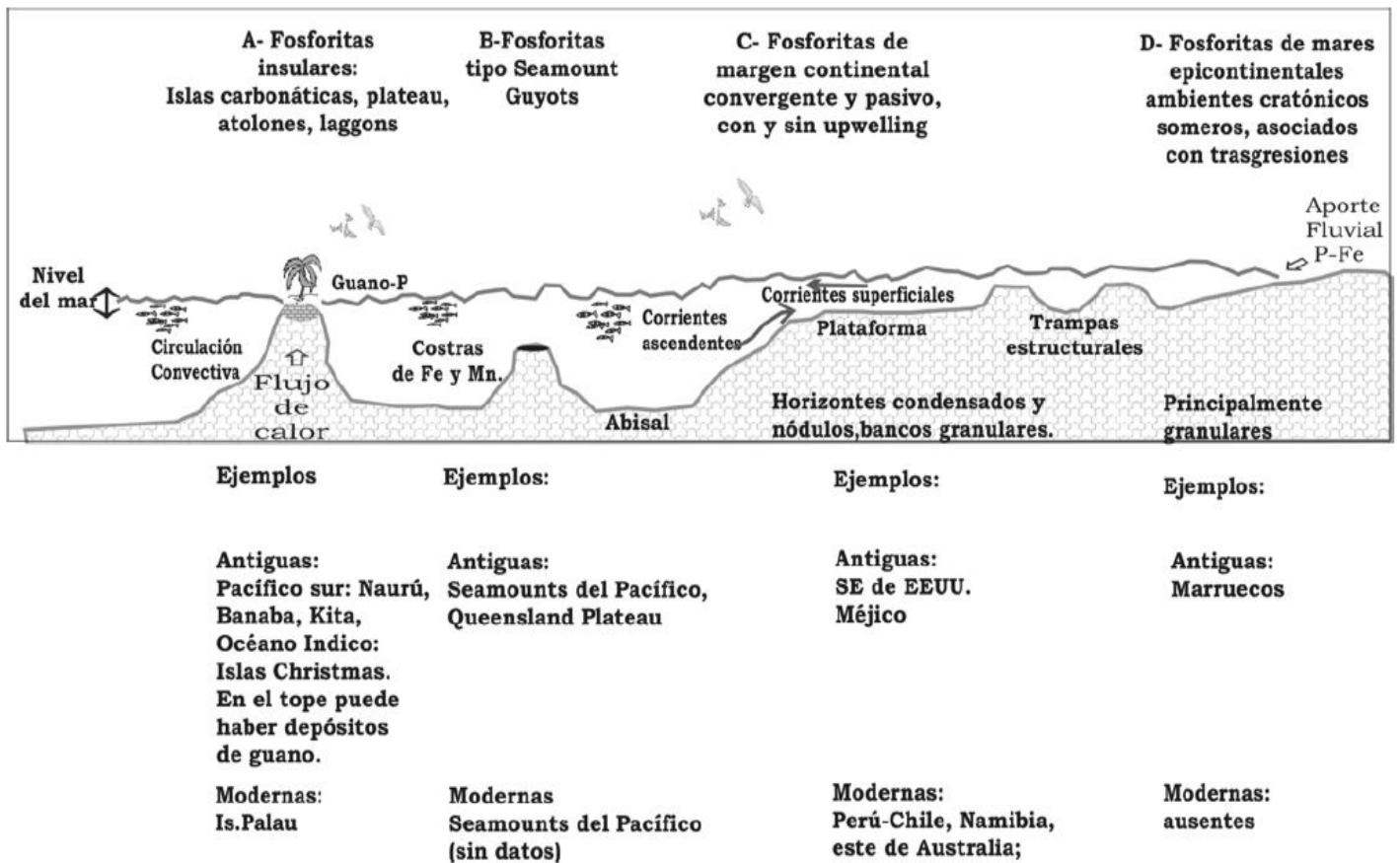
Aunque no son de importancia en el pasado geológico, estos depósitos pueden tener alguna importancia económica, ya que la lixiviación del guano deja un depósito de



fosfato de calcio. También, a partir de ellos pueden fosfatizarse las rocas subyacentes por la lixiviación del fosfato del guano. Estas fosforitas tienen poco significado geológico y económico, más allá de su utilización como fuentes locales de fósforo.



Depósitos de Guano.



Ambientes de formación de las fosforitas a partir del esquema de Glenn Et Al. (1994)



1.2.1.4. -GENERACIÓN DE LAS FOSFORITAS

Los procesos que favorecen la formación de las fosforitas son similares a los que también lo hacen con los carbonatos, ya que se trata de componentes no terrígenos.

No obstante, las fosforitas pueden aparecer a valores de PH algo más ácidos (cerca de 7) y en condiciones leve a moderadamente reductoras.

La generación de fosfatos se ve beneficiada por la falta de aportes silicoclasticos. Estos depósitos son típicos de regiones con muy baja velocidad de sedimentación.

Por tal motivo, las fosforitas son constituyentes comunes de las denominadas secciones condensadas.

Los nodulos fosfáticos marinos actuales (fluorapatita carbonatada) están relacionados a corrientes de surgencia (upwelling) en áreas de bajas latitudes (menos de 40°). La surgencia es un fenómeno que ocurre a latitudes medias por la presencia de sistemas atmosféricos de alta presión y que se da particularmente en los flancos occidentales de las masas continentales.

La fluorapatita carbonatada viene disuelta en aguas frías, profundas, a las que entra en solución por descomposición de materia orgánica y alta presión de CO₂. Dichas aguas son ricas en nutrientes que no son empleados en profundidad (esencialmente porque no hay penetración de luz solar), y se dirigen hacia las plataformas marinas por el proceso de surgencia.

Cuando las aguas profundas llegan a la superficie por el proceso de surgencia (upwelling), son esenciales para la combustión en el proceso de fotosíntesis que producen las algas microscópicas que constituyen el fitoplancton.



Este proceso es altamente efectivo en ambientes marinos someros en los que existe alta productividad orgánica por aumento de fitoplancton.

De este modo, en aguas poco profundas de las plataformas, menos de 30 metros (zona fótica), el P_2O_5 es consumido por el fitoplancton.

Tenemos así dos extremos: una zona profunda con disolución y aportes de nutrientes y una zona somera con consumición de P_2O_5 y CO_2 por fotosíntesis.

En cambio, en una situación intermedia, o sea hacia el sector extremo de las plataformas y también en las partes altas de las taludes continentales, entre los 60 y 300 metros de profundidad, se dan las condiciones más favorables para la formación de fosforitas.

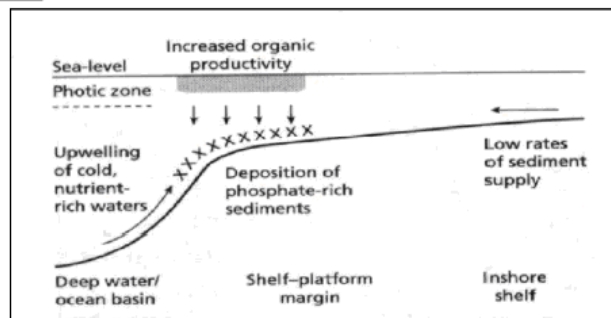
En estas áreas se incrementa el tenor de materia orgánica y la concentración de fosfatos, mientras decrece el de oxígeno disuelto (zona de oxígeno mínimo). Además, las explosiones de fitoplancton pueden llevar al envenenamiento en masa de organismos neotónicos (por ejemplo peces con consecuente aporte de fosfato).

La acumulación en el fondo marino de fosforita se produce por liberación de fosfatos, lo que parece estar fuertemente favorecido por la actividad de bacterias y hongos, y también por el aporte de los restos esqueléticos.



Nótese la ubicación preferencial en fajas latitudinales medias a bajas y en los mares ubicados hacia el oeste de las grandes masas continentales.

Tucker (2003)



Áreas marinas con acumulación de nódulos fosfáticos y modelo conceptual.



1.2.1.5. -OTROS MECANISMOS DE GENERACIÓN DE LAS FOSFORITAS

1.2.1.5.1. *-DIAGENESIS*

La apatita se puede concentrar durante la diagenesis temprana (penecontemporanea), por debajo de la interfase agua-sedimento. Su generación se vincula con actividad bacteriana que descompone parcialmente a la materia orgánica, libera fosfatos y favorece la precipitación de fosforita criptocristalina.

Se aprecia por la formación de nódulos incluidos en el interior de otros tipos de sedimentos, especialmente carbonatitos.

El fosfato diagenetico produce reemplazos tempranos (fosfatización) de sedimentos carbonatitos.

1.2.1.5.2. *-RESEDIMENTACIÓN – RETRABADO*

Las fosforitas también pueden ser formadas por procesos de retrabajamiento. Las corrientes oceánicas y los procesos de tormentas muy fuertes pueden favorecer a concentración de componentes fosfáticos.



1.2.1.6. -SECUENCIAS DE FOSFORITAS ANTIGUAS

Las principales sucesiones fosforíticas del pasado geológico responden a episodios globales ocurridos en el precámbrico, cámbrico, permico, cretácico tardío-paleógeno temprano y mioceno-plioceno.

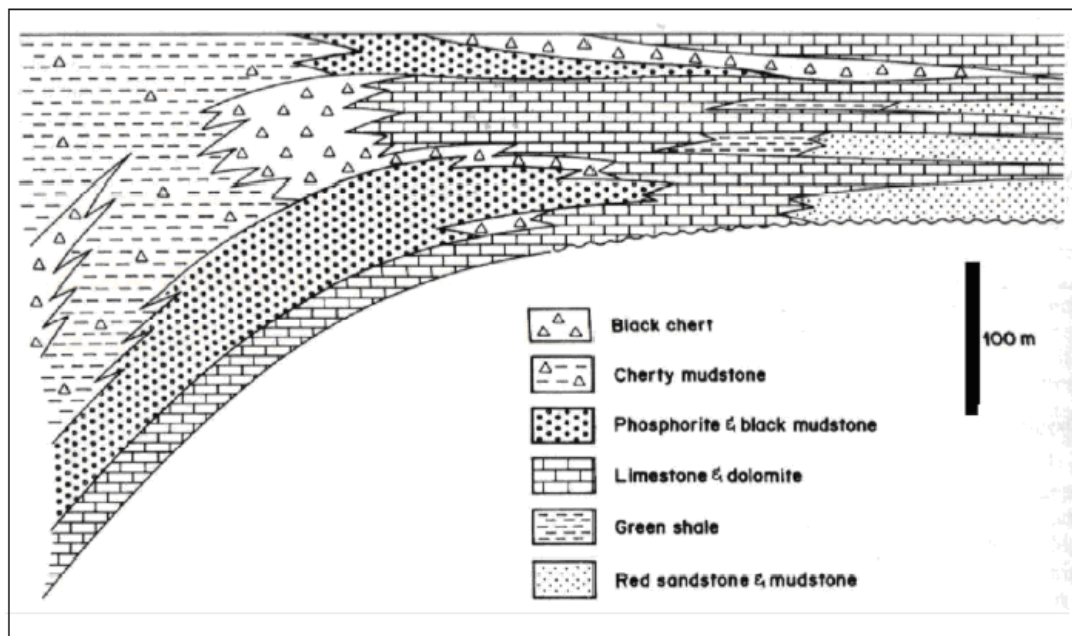
Las sucesiones sedimentarias consisten en interestratificaciones de fosforitas (pelletales, oolíticas, pisolíticas, nodulares, bioclasticas) con fangositas carbonosas, fangositas fosfáticas, calizas y dolomías fosfáticas.

Las fosforitas están mayoritariamente compuestas por nódulos, pellets fecales (de colofano) y fosfatos esqueléticos (constituidos por escamas y huesos de peces, y braquiópodos inarticulados).

Recuérdese que para su desarrollo se han invocado mecanismo de surgencia (upwelling) en regiones oceánicas, asociados con episodios de explosión de fitoplancton que favorecieron el desarrollo de condiciones de pobre oxigenación y acumulación de materia orgánica.

En general se las vincula con periodos de mar alto y procesos transgresivos, que inhiben el aporte clástico a las cuencas y favorecen los procesos de lenta acumulación sedimentaria (sucesiones condensadas).

Algunos depósitos fosforíticos generados en ambientes restringidos (cuencas lacustres cerradas, albuferas, estuarios) se consideran el resultado del elevado aporte de nutrientes por drenaje continental, en condiciones de climas muy calidos y húmedos.



Modelo de Facies de la formación fosforiana (Permico, EEUU); McLane (1995)



1.2.2. -GEOQUÍMICA

La francolita (CFA) con $> 1\%$ de F y apreciables cantidades de CO_2 , es el mineral esencial en fosforitas no alteradas por metamorfismo o meteorización. No todas las sustituciones tienen la misma valencia que el ión original; por lo tanto, en general, se producen sustituciones acopladas para mantener el balance de cargas. Los elementos geoquímicos mayoritarios de francolitas inalteradas presentan sorprendentemente poca variación. Las francolitas no alteradas del Cenozoico contienen 32% P_2O_5 , 52% CaO , incluyen Na, Sr, Mg, CO_2 y SO_4 . En general, el nivel de sustitución mostrado por este mineral decrece progresivamente cuando aumenta la edad, la diagénesis de soterramiento y/o la meteorización, lo cual promueve una transición hacia la fluorapatita $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2]$.

La química de los elementos mayores de las fosforitas refleja tanto la composición de éstas como de sus minerales accesorios. El Cuadro III-2 muestra una comparación de la composición de distintas rocas fosfáticas sedimentarias en el mundo y a su vez los valores obtenidos de una carbonatita.

	Florida (1) Fosforita	Marruecos (1) Fosforita	Brasil (2) Fosforita	Perú (2) Fosforita	Venezuela (4) Fosforita	Brasil (5) Carbonatita
SiO_2	11,2	2,09	33,7	3,2	36	0,6
Al_2O_3	1,8	0,55	8,7		0,3	0,1
Fe_2O_3	0,79	0,23	3,3			6,1
MgO	0,33	0,403		0,50	0,11	5,5
CaO	43,6	51,76	24,4	46,5	38,3	44,3
P_2O_5	30,2	32,98	20,2	30,2	25-30	5,3
CO_2	n.d.	5,1		4,4		
F	3,2	4,04		2,9	2	

Comparación de la composición química de rocas fosfáticas de distintos yacimientos / depósitos del mundo Jarvis et al. (1994); Damasceno (1989); Mc. Clellan (1989); Born (1989) y Casanova.



Si se compara la composición de las rocas fosfáticas con una pelita (roca sedimentaria de grano fino) promedio. Se observará en algunos casos un valor de enriquecimiento y en otros de empobrecimiento.

Elemento	Pelita promedio	Factor Enriquecimiento	Abundancia normal	Factor Empobrecimiento
Ag	0,07	30		
As	13		N	
B	100			6
Ba	580		N	
Be	3		N	
Cd	0,3	60		
Co	19			3
Cr	90		N	
Cu	45		N	
Ga	19			5
Hg	0,4			7
La	40	4		
Li	66			13
Mo	2,6	4		
Ni	68		N	
Pb	20	2		
Sc	13		N	
Se	0,6	8		
Sn	6			2
Sr	300	2		
U	3,7	30		
V	130		N	
Y	26	10		
Yb	2,6	5		
Zn	95	2		2
Zr	160			

Comparación de las rocas fosfáticas con una pelita (roca sedimentaria de grano fino promedio. En Jarvis et al.(1994).

El estudio de elementos trazas tiene suma importancia, desde dos puntos de vista; por un lado para evaluar su economicidad como subproductos (U y Tierras Raras) en la explotación de fosfatos y por el otro para controlar su toxicidad (Cd, derivados



radionucleidos del uranio) y la consecuente influencia en el ambiente tanto en los fertilizantes como en la formación de fosfoyeso.

1.2.2.1. -ABUNDANCIA DE LOS FOSFATOS Y PERÍODOS FOSFOGÉNICOS

Gráfico demostrativo de la abundancia de depósitos fosfáticos en los distintos períodos de la historia del planeta. La formación de fosfatos se ha visto favorecida por períodos de nivel del mar elevado, con climas cálidos ampliamente distribuidos en la superficie del planeta que permiten la intensa meteorización y aporte de fosfatos al mar. También las épocas de cambio entre un océano estratificado y uno de intensa circulación de aguas favorecieron la surgencia y la formación de depósitos fosfáticos asociados con cuencas anóxicas.



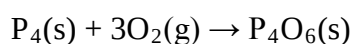
Depósitos fosfáticos en los diferentes periodos fosfogenicos.



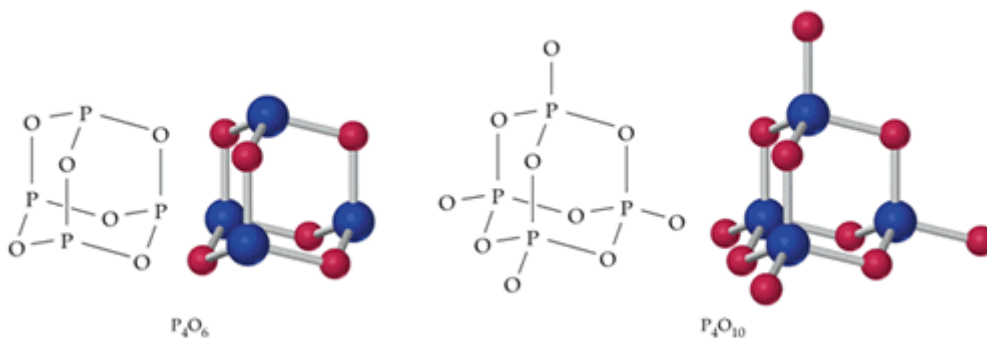
1.2.3. -ÓXIDOS Y OXOÁCIDOS DEL FÓSFORO

Entre los compuestos más importantes del fósforo están los óxidos y los oxoácidos que tienen fósforo en estado de oxidación +3 y +5. Las fórmulas más simples que podemos escribir para los óxidos son P_2O_3 y P_2O_5 , respectivamente. Los nombres que les corresponden son “trióxido de fósforo” y “pentóxido de fósforo”, Sin embargo, P_2O_3 y P_2O_5 son sólo fórmulas empíricas. Las fórmulas verdaderas de los óxidos son el doble de las escritas, es decir, P_4O_6 y P_4O_{10} .

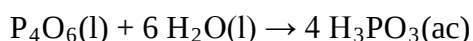
El P_4O_{10} se forma cuando el P_4 blanco reacciona con una cantidad de oxígeno, limitada:



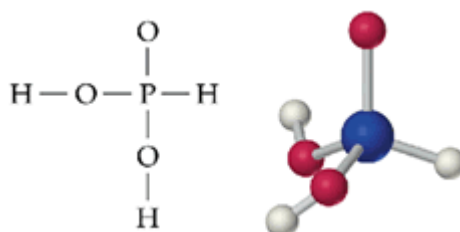
Este óxido posee átomos de P (en estado de oxidación +3) con geometría tetraédrica, con un átomo de oxígeno de puente entre cada dos átomos de P.



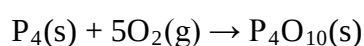
El P_4O_6 reacciona con agua para formar ácido fosforoso:



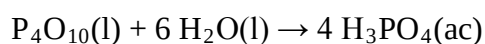
La fórmula del H_3PO_3 es engañosa porque el ácido sólo tiene dos átomos de hidrógeno ácidos; el tercero está unido al átomo central de P y no se disocia. El ácido fosforoso es un ácido débil en agua pero reacciona completamente en exceso de una base fuerte. Las sales del ácido fosforoso contienen al anión bifosfito, HPO_3^{2-} .



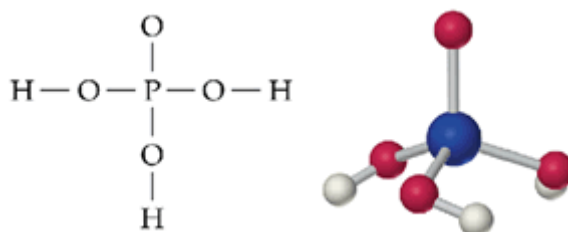
El P_4O_{10} , conocido comúnmente como el pentóxido de fósforo, se forma cuando se quema P_4 con un exceso de oxígeno:



En esta estructura se conserva la unidad tetraédrica de átomos de fósforo en la que además de los átomos de O puentes hay un átomo de oxígeno adicional por cada átomo de P del vértice. Esto significa que hay 10 átomos de O por cada tetraedro P_4 . Este óxido es un agente desecante muy poderoso y en una reacción exotérmica y vigorosa con el agua, forma ácido fosfórico (H_3PO_4), uno de los 10 compuestos más importantes en las manufacturas químicas.

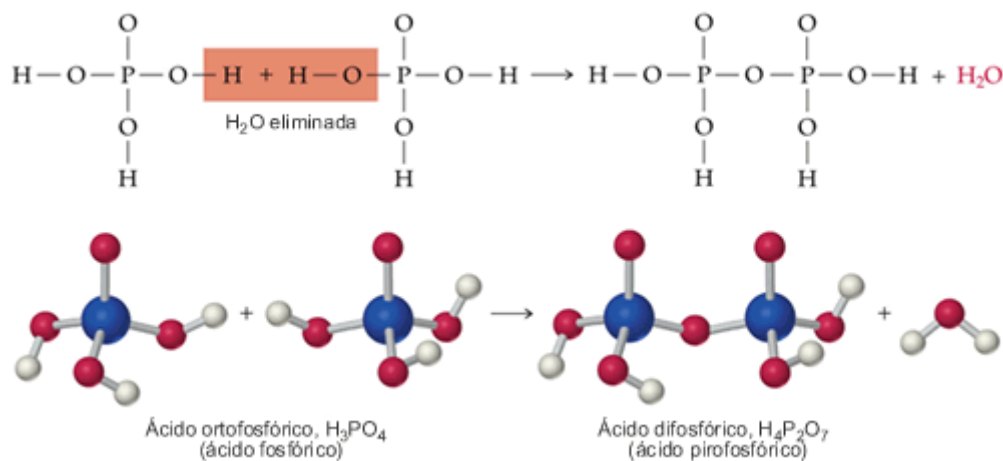


La presencia de muchos enlaces con H hacen que sea una sustancia muy pura y 75 veces más viscosa que el agua. El H_3PO es un ácido triprótico débil; en agua pierde un protón pero en exceso de una base fuerte se disocia, completamente en tres pasos, para formar los tres oxoaniones fosfatos ($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} y PO_4^{3-}).





Si se combinan P_4O_{10} y H_2O en relación molar 1:6 según la reacción anterior el producto líquido debería ser H_3PO_4 puro (al 100%). Sin embargo, un análisis del líquido indica que sólo tiene aproximadamente el 87,3% de H_3PO_4 . El fósforo *que falta* está en el líquido pero como $H_4P_2O_7$, un compuesto llamado ácido *difosfórico* o *pirofosfórico*. Se forma una molécula de ácido difosfórico cuando se elimina una molécula de agua entre dos moléculas de ácido ortofosfórico, como se muestra en la figura:



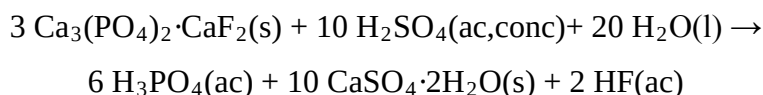
Si se une una tercera molécula de ácido ortofosfórico, eliminándose una molécula de agua, el producto es el ácido *trifosfórico*, $H_5P_3O_{10}$, y así sucesivamente. Las estructuras de cadenas de ácido fosfórico se denominan en su conjunto ácidos *polifosfóricos* y sus sales se llaman *polifosfatos*. Hay dos derivados de los ácidos polifosfóricos especialmente importantes que están en los organismos vivos y se llaman ADP y ATP.

La letra A del acrónimo se refiere a la adenosina, una combinación de una base orgánica llamada adenina y un azúcar de cinco átomos de carbono llamado ribosa. Si esta combinación de la adenosina se une a un ion difosfato, el producto es el ADP, difosfato de adenosina. Si se une a un ion fosfato al ADP se obtiene ATP, trifosfato de adenosina.



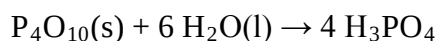
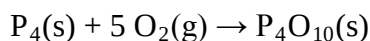
1.2.3.1. -SÍNTESIS DEL ÁCIDO FOSFÓRICO

La mayor parte del ácido fosfórico se obtiene por reacción entre el ácido sulfúrico y el apatito:



El HF se convierte en Na_2SiF_6 , que es insoluble, y el yeso formado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se filtra junto con otras impurezas insolubles. El ácido fosfórico se concentra por evaporación. El ácido fosfórico obtenido mediante este proceso húmedo contiene una gran variedad de iones metálicos como impurezas y es de color verde oscuro o marrón. Sin embargo es adecuado para fabricar fertilizantes y para operaciones metalúrgicas.

Un método alternativo para obtener H_3PO_4 con una mayor pureza consiste en la combustión del fósforo blanco, P_4 , con aire, absorbiendo el P_2O_5 resultante en agua:



El ácido fosfórico se obtiene con una concentración entre 54.5 y 61.5 % (contenido de P_2O_5).



1.2.4. -ROCAS FOSFÁTICAS EN EL MUNDO

Nothold et al, (1989) divide a los depósitos explotables de fósforo en tres tipos: (1) rocas sedimentarias marinas o fosforitas, tales como las del Cretácico-Eoceno del norte de África y Medio Oriente y las del Mioceno del SE de Estados Unidos; (2) rocas ígneas particularmente carbonatitas y otras rocas alcalinas como los de Península de Kola en el NW de Rusia, Goiás y San Paulo en Brasil, y Palabora en Sud África; (3) depósitos insulares como los de las islas tropicales del Pacífico y del océano Indico. De todas ellas el 80 % de lo explotado proviene de las fosforitas (Glenn et al, 1994).

En la actualidad más de 30 países están produciendo roca fosfática para abastecer tanto mercados locales como internacionales. Sólo cinco países en conjunto controlan el 90% de las reservas mundiales de la roca fosfórica. Los primeros doce países que producen en el mundo ocupan casi 95% de la producción total del fosfato. Los tres productores principales, es decir los E.E.U.U., China y Marruecos, producen actualmente cerca de los dos tercios de la producción mundial.

China, el mayor productor, ya ha comenzado a proteger sus suministros mediante un arancel del 135% a las exportaciones (año 2008).

Los EE.UU agotan rápidamente sus propias reservas -de extracción ya ha alcanzado su máximo- y ya depende de las importaciones.

Aparte de un número de pequeños productores, liderados por Sudáfrica y Jordania, el proveedor más grande es Marruecos.

Las reservas de fosfato de Marruecos se encuentran, concretamente, en el Sahara Occidental, un territorio que es reconocido internacionalmente como un país soberano, pero que ha sido ocupado por Marruecos desde 1975.



Las reservas probadas de Marruecos cubren alrededor 50% del total y a su vez sus reservas potenciales y los recursos se ubican aproximadamente en el 60% de los

recursos totales del mundo. Los E.E.U.U. y la China abarcan cerca del 20% de recursos mundiales.

En 2004, los EE.UU. firmaron un tratado de libre comercio bilateral con Marruecos que permitía a largo plazo acceso de EE.UU. a su fosfato. Como era de esperar, como miembro permanente del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, los EE.UU. siempre ha vetado cualquier resolución que exige a Marruecos a abandonar el Sáhara Occidental.

Australia, por el contrario, recientemente ha detenido las importaciones de fosfatos de Marruecos en protesta contra la ocupación del Sáhara Occidental. Los españoles conocemos muy bien esta historia y sabemos que este caso atrae poca atención... y luego tenemos países como la India, que son casi totalmente dependientes de fuentes extranjeras, será el primero en verse más gravemente afectado por el aumento de los precios mundiales.

Las reservas y recursos de rocas fosfáticas en los distintos países son inciertas, siendo en algunos casos información clasificada y en otros no evaluada. Existe en muchos casos una falta de la información referente al grado de la exploración y de los criterios usados el potencial económico. En ocasiones, los cuadros de producción y reservas que involucran distintos países se basan en datos recogidos de diversas fuentes que no siempre son comparables.



País	Producción mundial		Reservas	Reservas Base*
	2003	2004e		
Australia	2.290	2.300	77.000	1.200.000
Brazil	5.600	5.650	260.000	370.000
Canada	1.000	1.100	25.000	200.000
China	24.500	25.000	6.600.000	13.000.000
Egypt	2.140	2.150	100.000	760.000
Estados Unidos	35.000	37.000	1.400.000	4.000.000
India	1.180	1.200	90.000	160.000
Israel	13.210	3.000	180.000	800.000
Jordan	6.760	6.800	900.000	1.700.000
Marruecos y Sahara Occ	23.000	23.000	5.700.000	21.000.000
Rusia	11.000	11.000	200.000	1.000.000
Senegal	1.470	2.000	50.000	160.000
Siria	2.430	2.400	100.000	800.000
Sud Africa	2.640	2.600	1.500.000	2.500.000
Togo	1.480	1.500	30.000	60.000
Tunez	7.890	8.000	100.000	600.000
Otros países	5.000	3.500	800.000	2.000.000
Producción mundial	137.000	138.000	18.000.000	50.000.000

Reservas y recursos de fosfatos en el mundo



En el presente la producción mundial de fosfatos es cercana a los 40 millones de toneladas de P_2O_5 derivada de 140 millones de roca fosfática, Del total cerca del 80% se utiliza en la industria de fertilizantes. Si se considera el rol de los fertilizantes está ligado directamente al desarrollo de la agricultura y está a su vez con el crecimiento de la población y sus necesidades de alimentación, es evidente que la que la producción futura de fosfatos aumentará. Los datos estadísticos indican que la tasa de población aumenta el 2 % por año.

Con ese concepto en mente y el decrecimiento de disponibilidad de fertilizantes orgánicos, la producción de fósforo debe aumentar para mantener la relación de nutrientes per capita y consecuentemente brindar una adecuada dieta para la población.

Appleton (2001) citado por Zapata y Roy (2004) destaca que la roca fosfática es un commodity de bajo precio, con gran volumen y alto costo para ser transportada, por lo tanto su potencial económico depende en gran medida de su localización en relación con el mercado local e internacional. La gran mayoría de los depósitos fosfáticos comercialmente explotados se localizan cerca de las costas y en países que cuentan con puertos de aguas profundas. Si la infraestructura de transporte es poco desarrollada y especialmente si no existen medios ferroviarios o mineraloductos para transportar las rocas fosfáticas al hacer el análisis costo beneficio resultará más económico importar fertilizantes como DAP que desarrollar una industria local. Los recursos de rocas fosfáticas situados en lugares remotos a grandes distancias de los mercados o sin transporte adecuado no resultan factibles económicamente para competir en un mercado internacional, probablemente puedan cubrir un mercado local o quizás regional. Por el otro lado, donde existen áreas agrícolas distantes de puertos, especialmente en aquellos países sin salida al mar, la resultante costo beneficio inclina la balanza hacia la utilización de recursos de rocas fosfáticas locales para aplicación directa. Los altos costos del transporte se deprecian si la roca fosfática puede convertirse en un producto de alto valor agregado.



1.3. -ANTECEDENTES HISTORICOS



1.3.1. -ANTECEDENTES EN ESPAÑA

Se recogen seguidamente los principales hitos relativos a la producción nacional de fósforo a lo largo de la historia reciente, debiendo considerar que en la actualidad no existe yacimiento alguno en explotación.

Anteriormente a 1956, hubo explotaciones de fosfatos en Logrosan y Aldea Moret, en la provincia de Cáceres, aunque a niveles muy modestos. Posteriormente, no existió producción nacional de fosfatos hasta 1972, cuando se inicia la explotación del yacimiento de Bucraa, en el Sahara occidental, año en el que se extraen en territorio colonial 15.000 toneladas.

En 1973 se produjeron en dicho territorio casi 700.000 toneladas. En 1974 la producción alcanzo 2,3 millones de toneladas (casi el 2 por 100 de la mundial), lo que supuso un autoabastecimiento del 56 por 100. En 1975 la producción se elevo a 2,7 millones de toneladas, lo cual permitió atender al 67 por 100 de las necesidades nacionales.

A finales de dicho año tuvo lugar la restructuración de la empresa, entrando a formar parte de la misma la Office cherifien de Phosphates (O.C.P.) marroquí, con un 65 por 100 del capital, y el Instituto Nacional de Industria con el 35 por 100 restante.

En la actualidad no existe, por tanto, producción nacional de fosfato.



1.3.1.1. -EL HORCAJO

1.3.1.1.1. *-INTRODUCCIÓN*

El Horcajo es denominado el paraíso de los fosfatos, en el se encuentran las piromorfitas mas famosas del mundo. Pocas minas cuentan en nuestro país con una larga tradición en la producción de ejemplares minerales de colección y con el estatus de famosa a nivel mundial. Sin duda, una de las más conocidas y apreciadas por los coleccionistas es El Horcajo, tanto por la producción histórica de piromorfitas y platas nativas que adornan las vitrinas de coleccionistas y museos de todo el mundo, como por la amplia variedad de fosfatos cristalizados encontrados en la última década, y especialmente ligados estos últimos a las obras de construcción del túnel del tren de alta velocidad (AVE) Madrid-Sevilla.

En su época de mayor esplendor, a caballo entre los siglos XIX y XX, las minas de El Horcajo se situaron entre las más importantes del distrito del Valle de Alcudia, y posiblemente entre las más productivas de España por su alta ley en plata, llegando a movilizar la inversión de grandes capitales que hicieron de estas minas un ejemplo de modernidad y desarrollo minero en un momento en que la minería del plomo atravesaba fuertes fluctuaciones por la gran competencia de distritos tan emblemáticos como el cercano Linares-La Carolina, Cartagena-La Unión o la Sierra Almagrera.

En aquellos momentos de fiebre minera, el poblado de El Horcajo se había convertido en una pequeña ciudad con más de 4.500 habitantes en su haber, dotado de escuelas, hospitales, talleres, farmacia, una cooperativa de consumo y sociedades de socorro y recreativas (instaladas por la Sociedad Minero Metalúrgica del Horcajo), fundiciones y una magnífica iglesia que destacaba en el centro de la urbe. La llegada del ferrocarril en el año 1907 mejoró notablemente el transporte del mineral, si bien no pudo evitar que la explotación pronto entrase en una fase de decadencia de la que ya no se repondría.



Panorama de las minas del Horcajo antes de iniciarse las obras del tren de alta velocidad. Lo más significativo de la imagen es la ya desaparecida chimenea de ladrillo de una de las máquinas de vapor asociada al avanzado sistema de desagüe del Pozo

“Argentino”

Actualmente, la visita al antiguo centro minero de El Horcajo sigue impresionando al viajero. Con las ruinas de la iglesia, los pozos “Argentino”, “San Juan” y “Malacate”, las ya arrasadas casas de los mineros y el gran volumen de escombreras que rodea las ruinas del poblado, es difícil abstraerse a un sentimiento de nostalgia por los tiempos pasados en los que soberbios ejemplares de piromorfita y plata nativa (los mejores de España en su momento) salían de las entrañas de la tierra en tal abundancia que, según el decir de los hijos y nietos de los mineros, se empleaban, los primeros, como sustitutivo de la hierba en los belenes navideños, y los segundos, para pagar las copas de los mineros en las cantinas y bares del pueblo. Como consuelo, aún es posible encontrar en las viejas escombreras ejemplares bien cristalizados de una decena de minerales, si bien tendremos que anteponer belleza y perfección a tamaño para salir satisfechos de nuestra búsqueda.



1.3.1.1.2. -LOCALIZACIÓN

El yacimiento de El Horcajo se sitúa en el paraje del mismo nombre, al sur del término municipal de Almodóvar del Campo, entre las sierras de Torneros y El Nacedero, que son la prolongación occidental de Sierra Madrona. Este paraje se halla en el extremo SO de la hoja 835, Brazatortas, y las coordenadas U.T.M. de referencia serían: X: 374625 ; Y: 4264075.

El acceso a la mina se realiza desde la carretera N-420, de la que parte, en el km 115,250, una pista hacia el Oeste que conduce a la antigua aldea minera de El Horcajo. También se puede acceder por una pista que parte en el km 116, justamente al finalizar la bajada del puerto Niefla, y que lleva al antiguo túnel del ferrocarril de Puertollano a Peñarroya, el cual ha sido acondicionado para acceso a la aldea de El Horcajo tras las obras del AVE.



Drusa de cristales de piromorfita.



1.3.1.1.3. -HISTORIA

La historia minera de El Horcajo comienza a mediados del siglo XIX, concretamente en 1858, cuando son denunciadas las primeras concesiones de El Horcajo por el ingeniero de minas Juan Inza, en base a unos interesantes afloramientos filonianos. Posiblemente el descubrimiento de estas minas fue tan casual como la mayoría de los que se realizaron en el siglo que nos ocupa, si bien es posible que ya existieran algunas pequeñas labores o prospecciones romanas, tan abundantes en todo el sector del Valle de Alcudia. La primera mina registrada fue “María del Pilar”.

En aquella época en que se hicieron los primeros registros *“no existía ni una casa, ni un chozo, ni el más rústico albergue en aquellas montuosas y casi inaccesibles escabrosidades que apenas había hollado planta humana”* (Avecilla, 1878).



Imágenes del Horcajo en el año 1860



En el año 1859 comienza la producción a pequeña escala de mineral de plomo argentífero, con un volumen extraído en los primeros cuatro años de 1227,45 quintales de mineral. En los dos años siguientes la producción aumentó a un total de 6.975 quintales, con una ley de plomo del 60 a 62 %, y una cantidad de plata de 5 onzas con 59 céntimos por quintal de mineral.

En el año de 1863 ,se acomete el desagüe con máquinas de vapor en El Horcajo (Quirós, 1969), mientras otras minas del distrito eran abandonadas por falta de medios mecánicos y elevados costes de transporte del mineral, dada la deficiente red de comunicaciones y muy especialmente la ausencia de ferrocarril que diera salida a los productos obtenidos. La elevada ley en plata de los plomos de El Horcajo permitía entonces una producción con regularidad, que únicamente era igualada en todo el sector del Valle de Alcudia por las minas de Villagutiérrez.

En 1865, Juan Inza vende las concesiones y minas a Ceferino Avecilla, quien pone al ingeniero Alfonso Piquet al frente de la explotación en 1866, y más tarde Federico Remfry retoma la dirección, de quien se tienen datos estadísticos de producciones, costes, etc. En este año, trabajan unos 260 hombres en mina, talleres y edificios, empleándose de 40 a 50 caballerías en transportar el mineral a la estación de Veredas, situada a 28 km.

En 1870 se constituye la Compañía comandataria denominada “La Minería Española”, de la que fue director Ceferino Avecilla. Con dicha compañía se aumenta el número de concesiones, se instalan nuevas máquinas de vapor de gran potencia y se incrementa notablemente la producción, alcanzándose en 1875 las 2.403 t de galena. Igualmente el transporte de mercancías entre Veredas y las minas creció grandemente, siendo esta una penosa actividad que debía hacerse con caballerías y carros por caminos en malas condiciones. Evidentemente, el transporte del mineral suponía no sólo un importante esfuerzo económico, sino humano. Según Quirós (1969), en el año 1877 se empleaban diariamente un total de 85 hombres y 290 caballerías.



El poblado que se había ido estableciendo alrededor de las explotaciones también había crecido y en 1877 vivían en él 1.984 personas. En ese año la producción de minerales llegó a 3.320 t, con una ley media en plomo del 70 % y unos 350-400 gramos de plata. A medida que se avanzó en la explotación de los filones, se vio la necesidad de reemplazar y ampliar las antiguas concesiones con las más recientes, quedando a mediados de 1877 las concesiones.

En esta época se explotan los filones principales “San Alberto” y “Ana María”, este último desde el año 1872 (Piquet, 1876). Destaca por su interés el Informe presentado por Ceferino Avecilla como director de las minas en el año 1878, donde se expresan las siguientes muestras presentadas procedentes del filón “Ana María”: 18 de plata nativa (“varias especies”, sic), 1 de cristalización de fosfato de plomo y 4 de galena cristalizada.

En 1873 eran seis los filones principales en explotación, destacando “San Alberto” (o “Nuevo Perú”), “Ana María”, “Paralelo” y “San Germán” (Piquet, 1876). La potencia del filón principal era en esa época de 0,7 metros, aunque en algunas zonas podía alcanzar 4,5 metros de espesor, especialmente al oeste del Pozo “Argentino”.

Según el mismo autor, la mayor ley en plata se obtuvo a unos 80 metros de profundidad, disminuyendo después para volver a aumentar a partir de los 105 metros.

Es muy notable indicar que gran parte de la plata extraída era en forma de plata nativa, que habitualmente se presentaba con hábito capilar sobre cristales de galena en las geodas del filón.

El desagüe siempre fue un problema sustancial en las minas de El Horcajo. En el año 1876 había instaladas un total de 10 máquinas de vapor, de las que dos, con 70 caballos, se empleaban exclusivamente en el desagüe, frente a 5 en la extracción de mineral, 2 en el taller de lavado y una en el taller mecánico. El carbón consumido por estas máquinas



se traía de Peñarroya (en el año 1874 el consumo fue de 2.612 t), y la madera para el entibado, de Portugal (Quiros, 1969). El interior de las galerías era recorrido por un ferrocarril que transportaba el mineral hasta el pozo de extracción, de donde partían nuevamente las vagonetas por el ferrocarril exterior hasta el lavadero.

En 1882 se hace cargo de la propiedad de las minas el Banco de París, que crea la Sociedad Minero Metalúrgica del Horcajo para la explotación. Cuatro años más tarde la producción aumenta a 3.500 toneladas de mineral, y en 1889 se eleva hasta las 8.188 toneladas, gracias en parte a la entrada de la perforación mecánica desde 1887.

En la última década del siglo XIX se registra el momento de mayor producción en El Horcajo.

El 25 de marzo de 1899 se produjo un lamentable incendio en el Pozo “San Juan”. Era Sábado Santo y se había aprovechado la parada de extracción para hacer algunos arreglos en el guionaje del pozo en su planta 9ª. Parece ser que, por accidente, un carburero prendió la madera en el mismo lugar donde se encontraban los operarios, y a las 2 de la tarde se marcharon al exterior creyendo haberlo extinguido para preparar una traviesa que habían de colocar en esa 9ª planta. Cuando a las 5 de la tarde quisieron coger la jaula, el fuego, que evidentemente no había sido bien apagado, había adquirido unas proporciones alarmantes. A 180 metros desde el brocal, la 9ª planta se veía con una corona de fuego. De poco sirvió arrojar todo el agua disponible del lavadero por la caña del pozo, ya que fragmentos de madera incendiada cayeron propagando el fuego en otros puntos del pozo. Las plantas 7ª, 15ª, 16ª, 17ª y 18ª se llenaron de humo, pero con el calor del incendio se invirtió el sentido de circulación del aire y el Pozo “San Juan” funcionó como pozo de salida, convirtiéndose en una inmensa chimenea en llamas. En menos de 3 horas ardió todo el maderamen del pozo, que de sus 380 metros estaba entibado en toda su longitud, con sólo algunos tramos de mampostería. Una de las jaulas se precipitó al fondo y en la caldera del pozo se formó una columna de 70 metros de escombros.



Los arreglos del desastre ocuparon diez meses de trabajos, y además hubo que lamentar un accidente con víctimas durante su realización. Estaban los albañiles entre las plantas 17ª y 18ª trabajando en el nuevo revestimiento de mampostería, protegido y aislado

por un tablado en el que había situado un torno para suministro de materiales. En una maniobra, la jaula contrapeso se quedó trabada, y al acumularse sobre ella el peso del cable, cayó como un cuerpo libre un recorrido de 300 metros, impactando brutalmente contra el tablado y provocando la muerte a los torneros y a 4 albañiles.

Pese a estos penosos avatares, la producción de mineral continuó a buen ritmo y en 1903 se consiguió alcanzar el máximo histórico, con 13.423 t de galena, con una plantilla de 920 obreros.



*Trabajos de recuperación del socavón de la mina “Salvadora”
a cargo de Minas de Almadén, en 1985.*



En 1904 las minas pasan a ser propiedad de la “Sociedad Minero Metalúrgica del Horcajo”. Sin embargo, debido a los importantes problemas de achique del agua, con caudales de más de 10.000 metros cúbicos de agua por día a profundidades superiores a los 500 metros (Libro del Centenario Peñarroya-España, 1984), e incapaz la nueva Sociedad de acometer el desagüe por falta de medios técnicos, toma a su cargo la responsabilidad de las minas la “Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya”,

instalando las primeras bombas centrífugas de gran potencia. Como consecuencia, se constituye la “Nueva Sociedad de las Minas de Horcajo”, con un capital social de 1.400.000 pesetas, con la mayoría del accionariado controlado por la SMMP (1.431 títulos de las 2.800 acciones totales). De esta forma, la SMMP, que ya controlaba explotaciones de plomo y zinc en otras zonas del Valle de Alcudia (minas “San Quintín”, “San Serafín”, etc.), entra a formar parte de la emblemática historia de El Horcajo.

Para solventar el problema del transporte, en 1907 se inauguró un ferrocarril de vía estrecha hasta Conquista, que enlazaba allí con el de Peñarroya a Fuente del Arco. Con esa línea se daba salida a los minerales hacia la fundición de metales de Peñarroya-Pueblonuevo y se facilitaba la llegada de carbón desde la ciudad cordobesa.

En 1909 se disuelve la Nueva Sociedad por problemas con el empobrecimiento de los filones, transfiriéndose a la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya el activo y el pasivo de la misma, coincidiendo además con una baja cotización del plomo en el mercado (Quirós, 1969).

En esa época se demarcaban en El Horcajo un total de 19 concesiones, con una superficie de casi 1.000 Ha. El arranque se realizaba con aire comprimido, el antiguo sistema de desagüe con bombas Rittinger había sido sustituido por modernas bombas centrífugas eléctricas, y el laboreo y extracción de mineral eran en todo perfectos, lo que no hacía presagiar el negro destino que se avecinaba.



En el año 1911, cuando la explotación alcanzaba los 600 metros de profundidad con casi 1.000 obreros empleados en ella, cierran las minas en El Horcajo. El cierre de la explotación supuso el comienzo del abandono del importante poblado minero que se

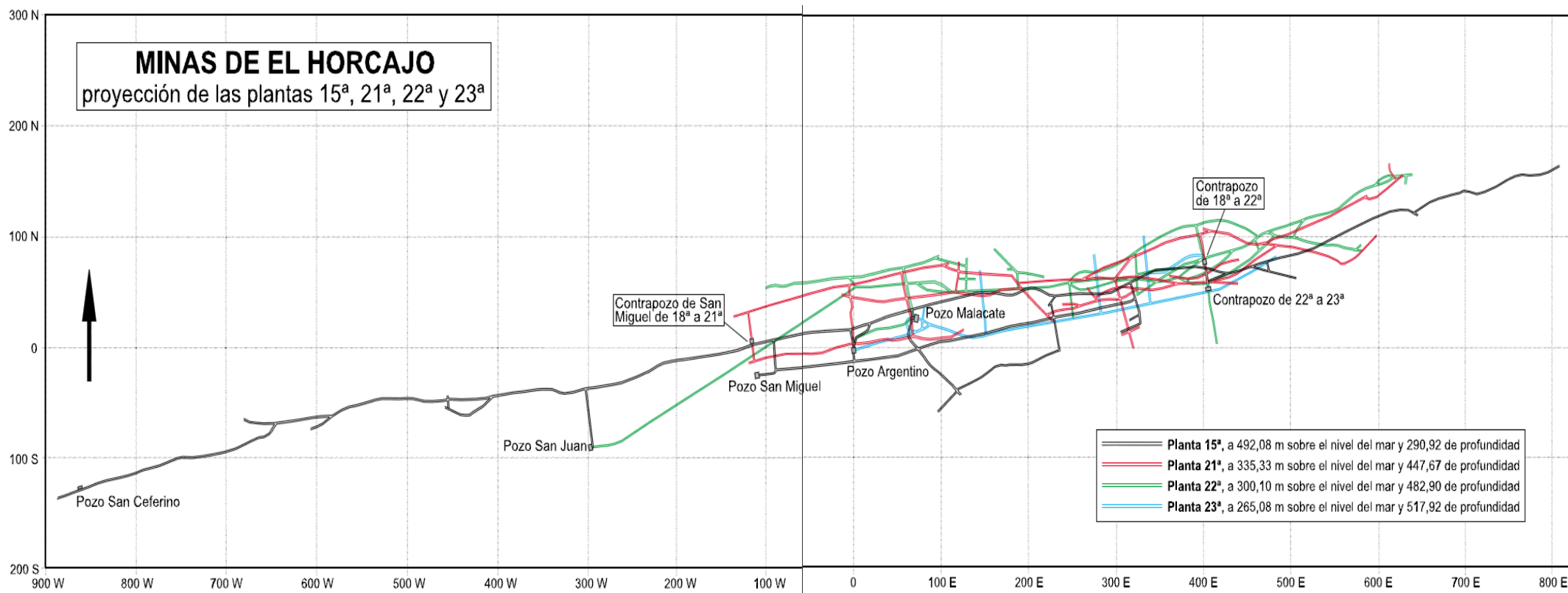
había ido creando. En el momento del cese de trabajos había en las minas 958 obreros, que quedaron reducidos a 155 para el mantenimiento de las instalaciones. Todos los servicios que las empresas mineras habían creado en el poblado fueron quedando progresivamente abandonados.

Tendrían que pasar 40 años para que se volvieran a realizar trabajos en El Horcajo. En 1951 la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya empezó a hacer investigaciones en un filón encontrado durante la construcción del túnel de la ampliación del ferrocarril desde El Horcajo a Puertollano. En 1955 comenzó la producción que se prolongó hasta 1961, habiendo sido arrendada la mina en 1959 a la Compañía Minera Beticomanchega.

Parece ser que la extensa investigación realizada entre los años 1961 y 1963 por la SMMP no concluyó con los resultados esperados para rentabilizar la explotación del distrito del Horcajo.

La producción total de estas minas ha sido del orden de 250.000 toneladas de concentrados de galena, con leyes del orden del 70 a 75 % de plomo y con 1,5 a 6 kg de Ag por tonelada. A final de la década de los 1980 se inició la construcción del ferrocarril AVE de Madrid a Sevilla, pasando su trazado por mitad de lo que fueron las minas de El Horcajo. En esta zona, las condiciones del relieve obligaron a la construcción de dos importantes túneles y un gran viaducto, obras que afectaron sobremanera a las antiguas instalaciones mineras.

Además grandes volúmenes de escombreras fueron utilizados como áridos en la obra y, más aún, una planta de clasificación continuó trabajando después del final de la obra lineal. Como remate final, las “restauraciones” efectuadas tras la finalización de los trabajos relatados supusieron la destrucción de buena parte de un patrimonio minero que aun perduraba.



Vista en planta del filón, con sus diversos pozos.



Ruinas de la iglesia y antiguo hospital de El Horcajo



1.3.1.1.4. -MINERIA

Como se ha indicado con anterioridad, los principales filones que se explotaron en El Horcajo fueron “San Alberto” y “Ana María”. Otros de menor importancia fueron “Maria del Pilar”, al Norte de la aldea de El Horcajo (cortado por las obras del túnel ferroviario de Puertollano a Peñarroya), y trabajado en una altura de 90 metros, así como el filón “San Germán”, al Noroeste de El Horcajo, al que se accede por el camino que parte del cementerio. La mayoría son prácticamente paralelos, con direcciones muy próximas a N 70° E.

El filón “San Alberto” fue el primero en trabajarse, y fue el principal de la explotación. Su corrida llegó a los 2.025 metros en superficie, aunque en profundidad se acortaba hasta los 250 metros en la planta 24. Fue trabajado hasta una profundidad de 555 metros. Su potencia también se reducía con la profundidad, pasando de una media de 3 metros en superficie a 1,5 m en las plantas intermedias hasta casi desaparecer en las plantas inferiores. La verticalidad del filón (80° - 85° Norte) condicionó el sistema de explotación que más adelante se describirá.

Por su parte, el filón “Ana María” tenía una corrida en las plantas superiores (no llegaba a aflorar) de tan sólo unos 800 metros, reduciéndose asimismo en profundidad hasta desaparecer al quedar unido con el filón “San Alberto” en la planta 22.

La explotación de estos dos filones se realizó mediante 5 pozos en los primeros tiempos, que de levante a poniente fueron “Malacate”, “Argentino”, “San Miguel”, “San Juan” y “San Ceferino”. Además de estos hubo otra serie de pozos auxiliares para la ventilación de las labores, como “Postdata” y “San Pedro”, los más orientales de las explotaciones.

El Pozo “Malacate”, rectangular, de 4,6 x 3,6 metros de sección, fue el que alcanzó mayor profundidad, 518 metros, aunque la explotación se llevó a cabo por un contrapozo hasta los 555 metros (en la planta 24^a), y los trabajos mineros alcanzaron los



603 metros en la planta 25. Este pozo disponía de una espléndida cabria de mampostería de unos 10 metros de altura, y una casa de máquinas anexa que comunicaba con el pozo mediante un gran ventanal con arcada de ladrillo, que actualmente son todavía visibles. Las guíaderas de los cables eran de madera, de 150 x 120 mm de sección.

El Pozo “Argentino” fue el segundo en profundidad, llegando hasta los 505 metros y conectando con la planta 23. Tenía 3,5 x 3,5 metros de sección, y una estructura de ladrillo de 20 metros de altura. Junto a él se encontraba la gran chimenea de la máquina de vapor, y que fue lamentablemente destruida durante la construcción de la vía de alta velocidad en 1990.

El Pozo “San Juan” fue el más importante para la extracción de mineral hasta finales del siglo XIX (en enero de 1894 salieron por su boca 4.000 vagonetas de mineral). De sección rectangular, dista del pozo San Miguel 200 metros, y alcanzaba la Planta 22ª a los 480 metros de profundidad. Actualmente se conserva la sobria estructura de ladrillo y mampostería de 8 metros de altura.

Finalmente, el Pozo “San Miguel” comunicaba con la Planta 15ª a los 360 metros de profundidad, y sus instalaciones terminaron de desaparecer también con las obras del AVE.

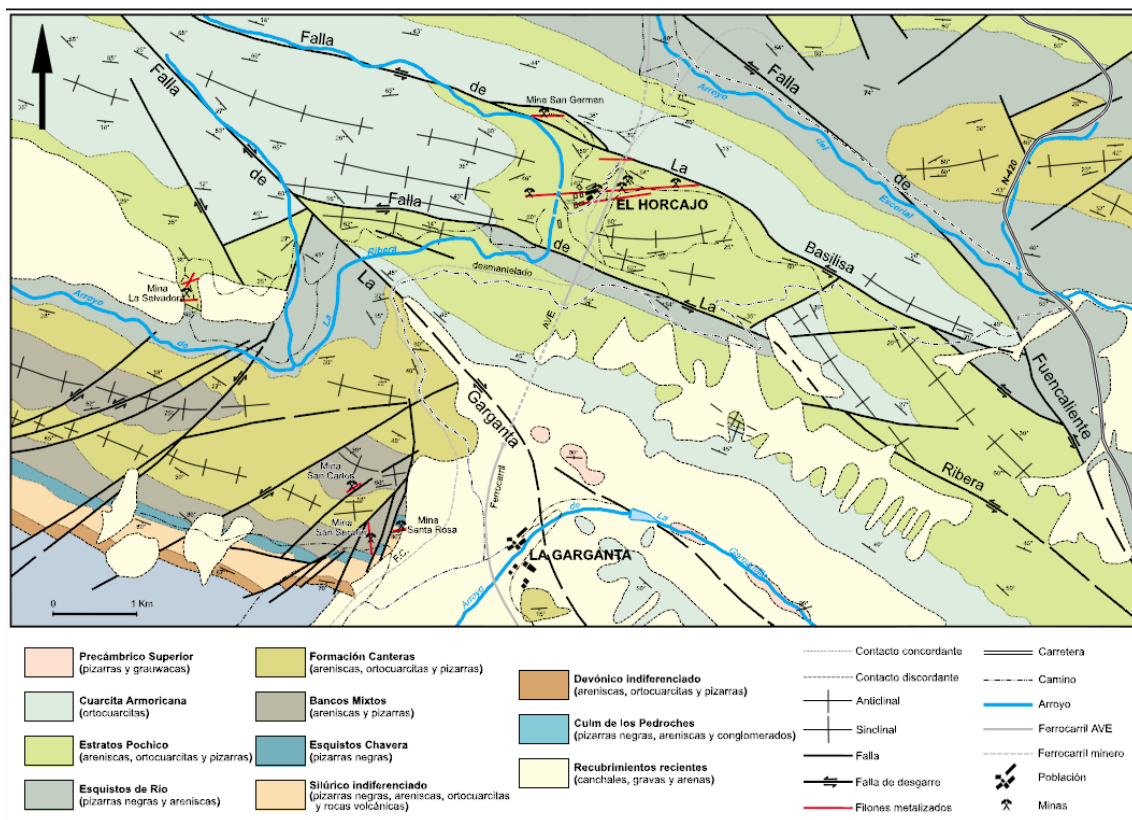
Al comienzo de las explotaciones únicamente se dedicaban a labores de extracción y servicio de la mina los pozos “Argentino”, “San Miguel” y “San Juan”. Apartir de 1893 se abandonan los trabajos mineros hasta los 300 metros, con la realización del Pozo “Malacate” para avanzar con los trabajos a partir de esta profundidad hasta el abandono de las labores en 1911. A finales del siglo XIX, este pozo centralizaba toda la extracción de mineral, disponiendo de jaulas de 2 pisos con capacidad para 4 vagonetas. Una vez en superficie, el mineral se transportaba por un cable aéreo de 1 km de longitud hasta el lavadero, situado en la concesión “Nuevo Perú”, junto al arroyo de La Basilisa, de donde tomaba el agua necesaria para tratar hasta 300 toneladas al día. Este nuevo lavadero aprovechaba las instalaciones del antiguo lavadero de tierras pobres. El



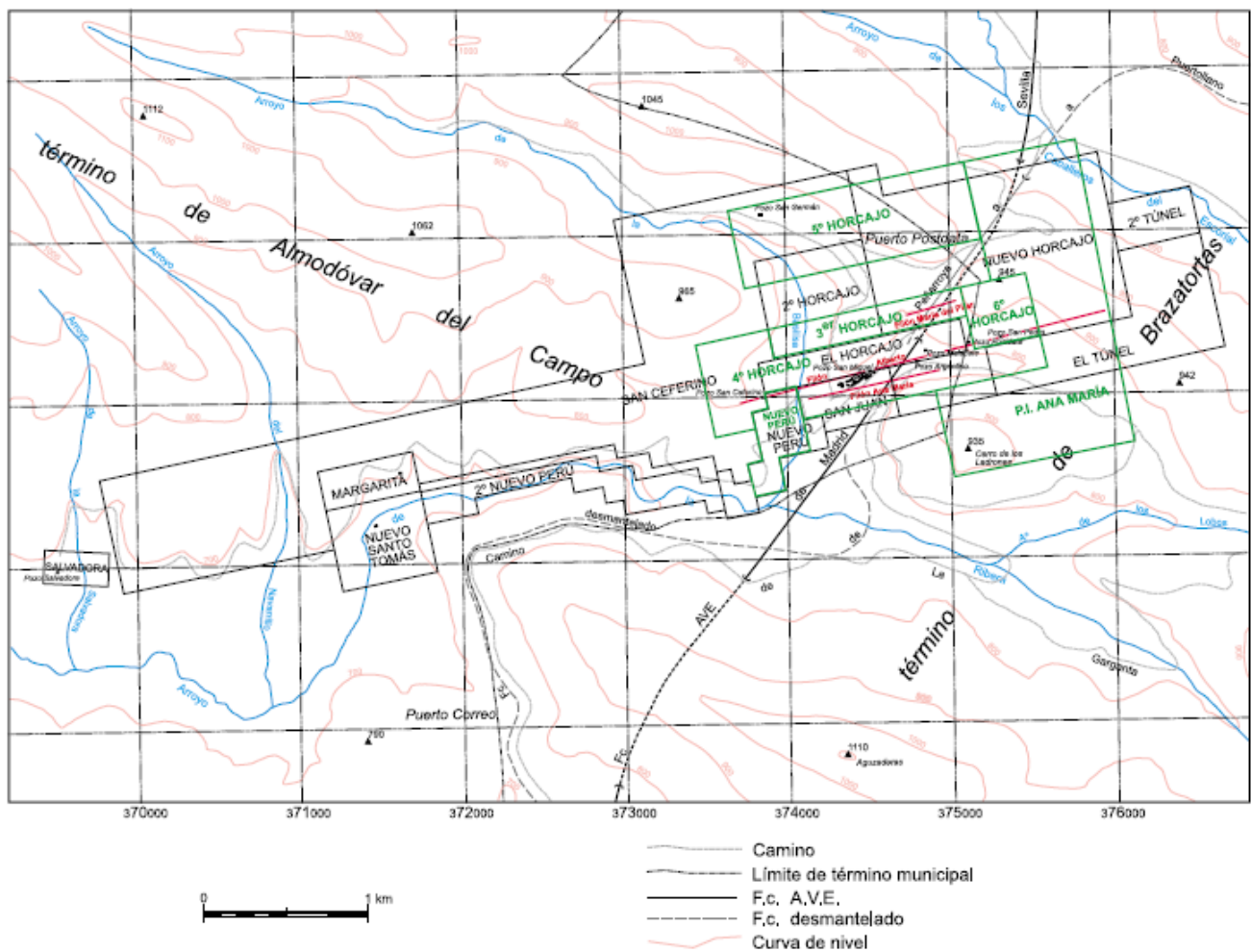
mineral extraído pasaba por un proceso inicial de cribado y estriado a mano. Posteriormente, los materiales más finos pasaban a las mesas de sacudidas.

El método de explotación seguido era el de “corte y relleno”, en plantas de unos 20 metros de altura en las zonas superiores de la mina, y de 40 a 50 metros en las partes medias y profundas. Para el relleno se empleaban estériles de la explotación y rechazos del lavadero. En las labores de preparación se realizaban galerías siguiendo la dirección de los filones, con chimeneas cada 45-50 metros que unían entre sí las galerías correspondientes a dos plantas contiguas. Normalmente se realizaba una entibación con madera, que se traía entre otros sitios, de Cuenca y Hellín (Hervada, 1894). En la época en que este autor realizaba su proyecto de Laboreo, el arranque de mineral se verificaba por contrata, contratándose un precio por metro cuadrado de avance (normalmente entre las 5 y las 10 pesetas por metro cuadrado de filón arrancado). Cada cuadrilla constaba de 4 personas, que se hacían responsables ante la empresa explotadora por las escrituras que firmaban separadamente. Excepcionalmente, en las pequeñas ramificaciones del filón principal, el método de explotación seguido era “por bancos”, que se diferenciaba del anterior por realizarse de arriba hacia abajo, sin rellenos ni entibación alguna.

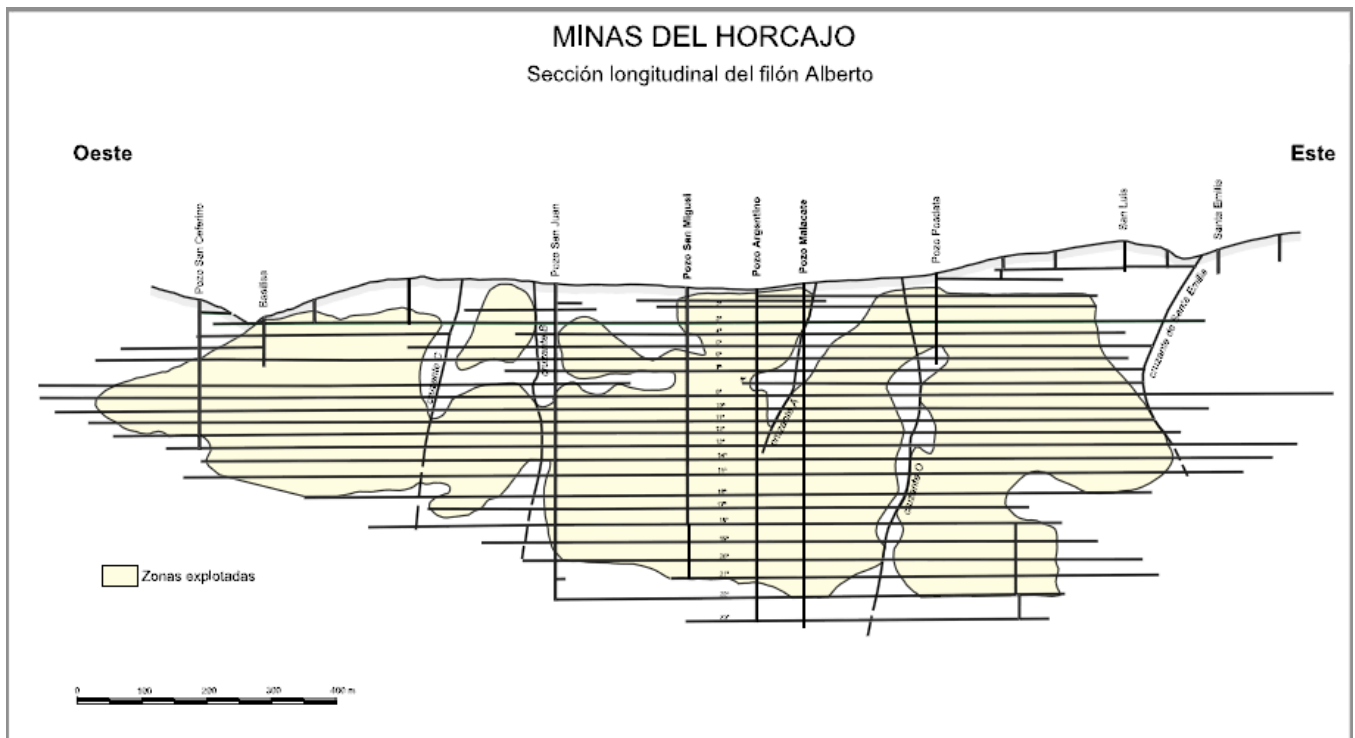
El filón “María del Pilar” fue explotado por el mismo sistema de corte y relleno a partir de los años 1950 y a través del Pozo “Malacate”, desde donde se excavó un socavón transversal hasta cortar el filón. El acceso desde el pozo a los dos niveles realizados para su explotación se realizaba mediante dos galerías en crucero. En esta época se construyó un pequeño lavadero para la obtención de pre-concentrados que se enviaban al lavadero de flotación de la mina “Diógenes”, en Solana del Pino, para su tratamiento final.



Mapa geomorfológico de “El Horcajo”.



Esquema de las concesiones mineras de El Horcajo a finales del siglo XIX (en negro) y a mediados del siglo XX (en verde).



Sección longitudinal del filón abierto



1.3.1.1.5. -EL DESAGÜE

La permanente entrada de agua siempre fue un problema en las minas de El Horcajo y es posiblemente el punto crítico que siempre entretuvo a los ingenieros de la mina. Ya en 1876, Piquet habla en la Revista Minera del *“terreno quebrantado con alternancias de cuarcita y pizarras arcillosas de fácil descomposición”*, con afluencias de 20 litros por segundo, que son 1.728 m³ diarios. Naturalmente, con la planificación de labores a mayor profundidad, crecieron los volúmenes de agua que entraban a la mina y no de forma lineal precisamente (5.200 m³/día en 1900 según informe de J. M. Madariaga, y hasta 10.000 m³/día sobrepasando los 500 metros de profundidad, según el Libro del Centenario de Peñarroya).

De esta forma, los medios mecánicos iban quedando continuamente insuficientes para la evacuación de un volumen que en ningún caso podemos suponer inferior a 7.500 m³/día como media, o lo que es lo mismo, el bombeo de algo más de 5 m³ por minuto. Es obvio que 7.500 m³ por jornada no son los 70.000 de la mina de Reocín, pero en el contexto técnico de finales del siglo XIX, sin duda estamos ante un reto de notable envergadura. Las primeras bombas de balancín o sistema Cornwall se instalaron en 1891 y en 1896 se amplió la capacidad de bombeo con una vetusta máquina de rotación, de dos cilindros que, por medio de 5 juegos de bombas Rittinger, extraía el agua desde la Planta 17.

Desde un principio se desestimó el empleo de una máquina Cornwall adicional por temor al enorme peso del tirante maestro (Madariaga, 1900). Con el aumento de las exigencias del servicio, se hizo necesaria la sustitución de la instalación por un sistema de desagüe por agua a presión con máquinas de vapor motrices, que fabricó la casa suiza Sulzer y se acopló al servicio del Pozo “Argentino”. Esta impresionante instalación, que es la que aparece fotografiada en la página 41 de este trabajo, adoleció sin embargo de frecuentes averías y fue causa de serios disgustos, lo que decidió a los directivos a plantearse la electrificación del desagüe. Se aprovecharon las excelentes máquinas de vapor de la instalación hidráulica para mover las dinamos generatrices y las nuevas bombas fueron encargadas otra vez a Sulzer, pero esta vez fueron bombas



centrífugas y no de rotación. Se instalaron 3 juegos, cada uno de los cuales constaba de 4 bombas de bronce acopladas en serie y situadas en anchurones del pozo en las plantas 8ª, 15ª y 18ª. El accionamiento y control se realizaba desde el exterior, con el único mantenimiento del engrase de los árboles de rotación. Además, entre las diferentes plantas y la calle había comunicación telefónica para facilitar el servicio. En su época, esta instalación fue un modelo de eficacia y modernidad, y El Horcajo fue la primera mina que electrificó el desagüe a este nivel de rendimiento.

En cuanto a la ventilación, ésta era natural, aunque en la planta 15 se instaló un ventilador que se empleaba también para la sala de máquinas interior del Pozo “San Miguel”.



Pozo e instalación de “San Juan”. Es el primer pozo que se hizo. Se empezó el año 1855, por Juan Inza, en el sitio donde se encontró el filón. El castillete fue construido por Alfonso Piquet el año 1873. En 1895 era pozo de extracción, de dos departamentos de jaulas y tenía en esa fecha una profundidad de 270 metros. Tenía asociado un plano inclinado de 103 metros de longitud con un desnivel de 25 metros, por donde se transportaban los minerales hasta el lavadero de tierras pobres.



1.3.1.1.6. -GEOLOGÍA

El yacimiento de El Horcajo se halla en las sierras de cuarcitas que se sitúan al Sur del anticlinal de Alcudia, emblemática estructura del borde meridional de la Zona Centroibérica, siguiendo la subdivisión realizada por Julivert et al. (1972) del Macizo Hercínico Ibérico, o también llamado Macizo Hespérico.

Esas sierras están formadas por rocas del Paleozoico Inferior, comprendiendo unas edades entre el Ordovícico Inferior y Devónico Inferior (entre los 500 y 390 millones de años). Estas rocas sedimentarias forman una alternancia de capas de espesor decimétrico de ortocuarcitas, areniscas y pizarras negras, depositadas en un medio marino costero, en lo que habría sido una gran plataforma continental como puede ser hoy día el Mar del Norte. En esta gran plataforma paleozoica se fueron acumulando grandes cantidades de sedimentos detríticos, detritos procedentes de la erosión de un margen continental pasivo. El tamaño de grano de los sedimentos variaba en función de oscilaciones del nivel del mar y de las condiciones más o menos distales a la antigua línea costera. Estas variaciones han quedado reflejadas en las mencionadas alternancias, representando las pizarras a sedimentos de tipo lodos en momentos de profundización o alejamiento de la costa, mientras que las areniscas y ortocuarcitas serían acumulaciones de arenas en momentos de escasa profundización y cercanía a la costa, incluyendo arenas de playa. En condiciones locales se depositaron algunos lodos de fosfatos y algunas acumulaciones de restos biodetríticos, y al final de este largo periodo de sedimentación se produjo una cierta actividad volcánica, dando lugar a algunas acumulaciones de tobas. Hoy día son reconocibles en estas rocas muchas estructuras sedimentarias que atestiguan este medio marino de formación, tales como los *ripple-marks* o las dunas submarinas. Igualmente, se encuentran algunos restos fosilizados de animales marinos, como trilobites o braquiopodos, así como huellas de reptación y de alimentación de animales arenícolas, como las conocidas crucianas o los skolitos.

El predominio en las alternancias de unas u otras litologías permite establecer una serie de unidades litoestratigráficas que sirven para realizar la cartografía geológica de la



zona. Estas unidades tienen una gran continuidad regional, que se debe a la estabilidad del medio sedimentario y tienen, además, un sentido temporal. Por ello, para su definición se ha usado una nomenclatura utilizada en todo el contexto de la Sierra Morena Oriental, unidad geográfica a la que pertenece el paraje donde está el yacimiento de El Horcajo. En el mapa se han representado especialmente las unidades del sistema Ordovícico (entre los 500 y los 435 millones de años), las cuales son las que tienen una mayor relevancia en relación con las mineralizaciones de galena de la zona.

A comienzos del Carbonífero (hace unos 360 millones de años) se produjo una profundización de la cuenca sedimentaria marina, pasando el medio a ser de plataforma distal y tener afinidades turbidíticas. Se produjo entonces una enorme acumulación de pizarras negras con algunas intercalaciones de conglomerados y areniscas, materiales que forman hoy día un monótono conjunto litológico que es denominado Culm de Los Pedroches. El nombre le viene dado por aparecer en la amplia llanura que se extiende al sur de las sierras cuarcíticas y que se adentra en las tierras cordobesas de la comarca de Los Pedroches.

El conjunto de rocas sedimentarias paleozoicas fue afectado por las deformaciones tectónicas hercínicas, que en esta parte del Macizo Hespérico tuvieron lugar a lo largo del Carbonífero Superior (entre los 320 y 300 millones de años). Estas deformaciones se produjeron en dos pulsos denominados localmente como primera y segunda fases hercínicas. El primero fue el principal y fue ocasionado por una compresión Norte-Sur que dio lugar a pliegues generalizados de orientación aproximada Este-Oeste. Son pliegues cilíndricos de eje subhorizontal y plano axial subvertical. La segunda fase fue consecuencia de un acortamiento Este-Oeste y originó sobre todo fracturación, que se relaciona con una gran banda de cizallamiento levógiro cuyos límites escapan de la zona representada en el mapa de la página 36. El yacimiento de El Horcajo quedaría centrado en la zona afectada por dicha cizalla, la cual estaría limitada entre dos grandes accidentes NO-SE conocidos como la Falla de Fuencaliente y la Falla de La Garganta,



que actúan como grandes desgarres. En los bordes y dentro de la banda de cizalla se producen, además de una intensa fracturación, fenómenos de interferencia de pliegues, cuyas morfologías están en función de la posición de la estratificación en los pliegues de la primera fase. Así, en zonas de charnela, con situaciones de la estratificación cercanas a la horizontalidad, se originan pliegues en forma de “silla de montar”, mientras que en los flancos, con la estratificación verticalizada, se forman pliegues cónicos de eje subvertical.



Pliegue anticlinal de 1ª fase hercínica (F-1) en las alternancias de cuarcitas y areniscas de la unidad litoestratigráfica “Estratos Pochico”, principales rocas encajantes de los filones de El Horcajo

Después de las deformaciones hercínicas, la zona ha permanecido como tierras emergidas, habiendo estado sometida a los procesos de erosión desde entonces. A mediados del Neógeno (hace unos 10 millones de años), se produjeron fenómenos de sedimentación de las zonas peniplanizadas por un rejuvenecimiento del relieve relacionado con los movimientos orogénicos alpinos. Se depositaron gravas y arenas por torrentes y medios fluviales acumulados a pie de los relieves y en las zonas bajas de los amplios valles. Los movimientos alpinos debieron ocasionar rejuegos en los grandes accidentes formados en la segunda fase hercínica, como la Falla de Fuencaliente,



produciéndose entre otros fenómenos el termalismo, existiendo hoy día algunas evidencias de ello, como el balneario de dicha localidad ciudadrealeña.

Por último, hace unos 2 millones de años se produjo un nuevo rejuvenecimiento del relieve, al quedar la zona elevada respecto al valle del Guadalquivir. Este hecho ha ocasionado que la red fluvial se encaje sobre los sedimentos terciarios, reiniciando un fenómeno generalizado de erosión que continua hoy día.



1.3.1.1.7. -DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

Como se ha dicho, el yacimiento de El Horcajo se sitúa en el centro de una gran banda de deformación por cizalla, limitada por dos grandes fallas de rumbo NO-SE, que son la de Fuencaliente y la de La Garganta. En esta zona, la banda deformada aparece cortada por dos fallas orientadas ONO-ESE, que son conjugadas con las grandes del borde y que actuarían como el sistema “Riedel sintético”. Se trata de las fallas de la Basilisa y de la Ribera, que funcionan como desgarres levógiros, pero con una cierta componente de falla inversa. Estas fallas compartimentan la zona en tres grandes bloques, situándose el yacimiento en el bloque central. En el bloque septentrional aparece otra mineralización, la correspondiente a la mina “San Germán”, y al sur y a poniente de la falla de La Garganta se encuentran otros yacimientos, los de las minas “La Salvadora”, “San Serafín”, “Santa Rosa” y “San Carlos”. Todas estas explotaciones han tenido una importancia mucho menor que las minas de El Horcajo, y aunque cada una de ellas presentan sus propias peculiaridades, se trata del mismo tipo de yacimiento y han tenido una génesis común.



Vista de las escombreras en proceso de trituración en la vaguada de la zona oeste de la explotación.



Centrándose en el yacimiento de El Horcajo, este criadero estaba formado por tres filones subparalelos entre sí que estaban mineralizados con galena argentífera. Presentaban una orientación general ENE-OSO y buzamientos fuertes al norte, con algunas ramificaciones de rumbo NE-SO. El principal de estos filones fue el llamado “San Alberto”, que tuvo una corrida (extensión longitudinal) en superficie de 2.025 m y fue trabajado hasta una profundidad de 555 m. La corrida mineralizada iba disminuyendo en profundidad, reduciéndose a sólo 250 m en la Planta 24ª, que fue la última en que se realizaron trabajos de producción. La potencia también se reducía en profundidad, variando desde 3 metros en superficie, a 1,5 m en las plantas intermedias y a una guía insignificante en la Planta 25ª, la más profunda de la mina, situada a 603 m de profundidad. Este gran filón presentaba una dirección N 70°E y buzamiento de 80° a 85° al Norte.

El filón “Ana María” fue el segundo en importancia. Se situaba al Sur del filón “San Alberto”, con el que terminaba uniéndose en profundidad. Presentaba una corrida de unos 800 metros en las plantas superiores que se iba reduciendo hasta su desaparición al quedar unificado con el filón “San Alberto” a niveles de la Planta 22ª. Este filón no llegaba a aflorar en superficie.

El filón “María del Pilar” fue encontrado durante las obras de excavación del túnel del ferrocarril de Puertollano a Peñarroya, realizadas años después del cierre de la explotación en 1911. Para su explotación se reabrió uno de los pozos de la mina a mediados del siglo XX. Se situaba a unos 400 m al norte del filón “San Alberto” y presentaba una dirección N 70°E y buzamiento de 75° a 80° al Norte. Su corrida fue de 290 m y la potencia osciló entre 1 y 0,25 m. Se trabajó en una altura de 90 m.

Las rocas encajantes de estos filones eran las alternancias de ortocuarcitas, areniscas y pizarras de la unidad litoestratigráfica “Estratos Pochico” y es muy probable que en la parte profunda de la mina los filones armasen en la “Cuarcita Armoricana”, unidades de edades Ordovícico Inferior y Medio (entre los 485 y los 470 m.a.). Estos materiales se disponen plegados durante la primera fase hercínica y replegados, cizallados y fracturados durante la 2ª fase. En la zona también se encuentran una importante red de



diques de rocas subvolcánicas de composición dacítica, que se emplazan seguramente durante la dinámica de fracturación de la 2ª fase hercínica.

La mineralización se situaba en fracturas tensionales relacionadas con la dinámica de las grandes fallas, en especial con las fallas de la Basilisa y de la Ribera. El mineral primario, principalmente galena, aparecía rellenando brechas tectónicas constituidas por fragmentos de cuarcitas, areniscas, pizarras y de rocas subvolcánicas. También se encontraban rellenos sintaxiales de espacios abiertos, dando a los filones una aspecto bandeado. El mineral se presentaba bien cristalizado, aunque las fracturas encajantes muestran rejuegos frágiles que rebrechificaban a la mineralización. Estos rejuegos han producido harinas de falla y barros miloníticos en las salbandas del filón, siendo muy característico un barro de color gris oscuro denominado por los mineros “zulacón” o “calichón”, el cual solía contener plata nativa.



Escombreras de la mina “San Germán”, al norte de El Horcajo, donde es posible encontrar cobre nativo y cuprita, entre otras especies secundarias



Las paragénesis primaria de los filones de El Horcajo está formada por galena como sulfuro dominante, la cual es muy rica en plata con contenidos del orden de 3,5 kg por tonelada de plomo metal. La galena va acompañada de una ganga constituida por ankerita y cuarzo. Como minerales minoritarios se han encontrado calcopirita, pirita y esfalerita, y a nivel de microscopio se han identificado bournonita, freibergita y platas rojas (¿pirargirita?). La mineralización primaria lleva asociada muy tenues alteraciones en las rocas encajantes que consisten en silicificación y ligera cloritización. En las rocas subvolcánicas se produce además una fuerte carbonatización.

La mineralización supergénica fue muy importante en El Horcajo y estuvo ampliamente distribuida en el yacimiento, apareciendo minerales secundarios hasta en los niveles más profundos de la mina. Los minerales encontrados han sido, entre otros, piromorfita, cerusita, goethita, pirolusita, malaquita, calcosina, covellina, cuprita, plata nativa, cobre nativo, y un importante cortejo de fosfatos de hierro y aluminio como cacoxenita y dufrenita. El mineral secundario de plomo más común fue la piromorfita, siendo emblemático este mineral de El Horcajo. Los ejemplares que se obtuvieron fueron muy abundantes cuando funcionaban las minas, estando considerados entre los mejores especímenes del mundo. La plata nativa era también abundante, encontrándose en forma de filamentos. Los minerales de cobre proceden de la alteración de la calcopirita, no son muy abundantes pero son muy llamativos. Los fosfatos de hierro y aluminio son otros minerales característicos de este yacimiento, siendo la cacoxenita el más corriente. Estos minerales han sido descubiertos recientemente como una paragénesis independiente de la mineralización explotada, y puesta de manifiesto sólo con el inicio de las obras del AVE.

La paragénesis primaria de galena es un típico ejemplo de mineralización hidrotermal de baja temperatura, que para este caso se ha calculado entre 105°C y 122°C (Palero et al., 2003). Las evidencias de este tipo de hidrotermalismo están ampliamente distribuidas por toda la región, con un gran número de filones con una mineralización semejante a la de El Horcajo. Por lo tanto, se trataría de un fenómeno a gran escala que se habría producido después de las deformaciones hercínicas. Los estudios realizados en



la zona consideran al plutonismo granítico hercínico como el “motor” térmico de este gran fenómeno hidrotermal (Palero, 1991; Palero et al, 2003; García de Medinabeitia, 2003), habiéndose dispersado los fluidos mineralizantes a favor de la intensa fracturación producida por las deformaciones hercínicas. En las zonas donde los fluidos hubieran encontrado trampas estructurales adecuadas, se habría producido la precipitación y cristalización de las paragénesis minerales como la de El Horcajo. La naturaleza del fluido hidrotermal ha sido de salmueras (aguas superficiales salinizadas), las cuales penetrarían en el interior. Estas aguas cerca de los granitoides serían calentadas y movilizadas, estableciéndose grandes corrientes convectivas a niveles superficiales de la corteza terrestre. Los granitoides parecen haber jugado un papel esencialmente pasivo, simplemente como focos de calor (Palero et al. 2003), pero los recientes datos aportados por García de Medinabeitia (2003), parecen indicar que también habrían aportado metales al medio, especialmente el plomo. El azufre, carbono y otros elementos esenciales de estas mineralizaciones parece que habrían sido extraídos de las rocas sedimentarias precámbricas y paleozoicas encajantes.

La importante mineralización secundaria de El Horcajo es una peculiaridad de este yacimiento. Minerales como la piromorfita o cerusita son comunes en los filones con galena del Valle de Alcudia, pero dichos minerales aparecen restringidos las zonas de alteración supergénica en los afloramientos y en niveles muy someros de las minas. Sin embargo, la paragénesis secundaria de El Horcajo aparece distribuida en todo el criadero y alcanza las zonas más profundas de la mina. Además la profusión y calidad de los cristales de estos minerales secundarios invita a pensar que dicha paragénesis se formó en un nuevo proceso hidrotermal ajeno y más moderno que el que formó la mineralización primaria de galena. Muy probablemente serían las reactivaciones alpinas las responsables de dicho fenómeno hidrotermal, siendo ahora el motor térmico el calor generado por la dinámica de las grandes fallas. Las aguas serían meteóricas, canalizadas por la densa fracturación hercínica heredada y rejugada en los nuevos movimientos orogénicos alpinos. El fósforo necesario para formar los minerales fosfatados procedería de los lechos de rocas de esta naturaleza que aparecen intercaladas en las alternancias paleozoicas. Las aguas calientes enriquecidas en fósforo circularían por la red de



fracturas, reaccionarían con los elementos comunes que hay en las rocas sedimentarias, que serían el hierro y el aluminio, dando lugar a minerales como la cacoxenita o la dufrenita. Cuando dichas aguas fosfatadas encontrasen las acumulaciones tardihercínicas de galena de ciertas fracturas (los filones metalizados), se alteraría ésta liberando el plomo, que recrystalizaría en forma de piromorfita, y la plata que precipitaría en su estado nativo.



1.3.1.1.8. -MINERALOGÍA

Se describen a continuación los minerales de mayor interés que se han podido identificar hasta ahora en El Horcajo, fruto de una sistemática búsqueda llevada a cabo en los últimos diez años, así como de la recopilación bibliográfica. A este respecto cabe destacar dos hechos que tuvieron lugar en la década de 1980-1990: la instalación de una planta de trituración y clasificación de áridos utilizados para el acondicionamiento de la carretera N-420 en su tramo Brazatortas-Fuencaliente, y por otra parte las obras del trazado del AVE Madrid-Sevilla, a su paso por la localidad de El Horcajo. Ambas actuaciones ocasionaron, por una parte, la removilización de las escombreras y la aparición de nuevos ejemplares que de otro modo aún permanecerían en su seno, y por otra parte la aparición de los fosfatos de hierro extraídos del túnel al Norte de la aldea de El Horcajo.

Para la correcta identificación de las distintas fases minerales se ha recurrido al análisis de polvo mediante difracción de rayos X, y en los casos de grupos de minerales o series de complejo quimismo, a la analítica mediante microsonda electrónica (análisis cuantitativo).

▪ ANGLESITA

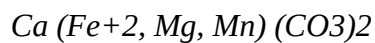
Pb SO₄

En las minas de El Horcajo, y especialmente en la mina “San Germán”, se han encontrado pequeños cristales, siempre en tamaños milimétricos, de tonos blanquecinos, cremas y rosados, con fuerte brillo adamantino, aunque bastante escasos. Normalmente se presenta con hábito prismático y terminaciones lanceoladas, aunque también es común de forma masiva junto con cerusita.



Anglesita

- **ANKERITA**



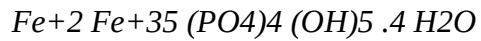
Es, junto con el cuarzo, uno de los minerales principales de la ganga, apareciendo en forma de romboedros de tonos blancos, ocre y marrón oscuro, a veces con brillos purpúreos, constituyendo la matriz para otros minerales bien cristalizados (galena, calcopirita, etc.). Los tonos ocre y marrones se producen por alteración. Los romboedros son pequeños, rara vez superan el centímetro y presentan las aristas ligeramente curvadas. Más corrientes son las masas espáticas que rellenan venas entre cuarzo y fragmentos de roca encajante.



Ankerita



- **BERAUNITA**

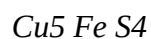


Es el segundo fosfato en orden de abundancia en la paragénesis de fosfatos de hierro de El Horcajo, y también el segundo en formarse, tras la dufrenita. Se encuentra en agrupaciones de excelentes cristales monoclínicos, prismáticos, con estriación vertical, de color rojo intenso a marrón-rojizo (dependiendo del grado de oxidación), alcanzando hasta 2 cm de diámetro y cubriendo grandes superficies de la roca cuarcítica. Se encuentra asociado a dufrenita en la zona de escombreras junto al poblado minero de El Horcajo y con cacoxenita en la zona de terraplén de acceso a la boca Norte del túnel del AVE.



Beraunita

- **BORNITA**

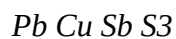


Junto con cobre nativo, cobres grises y covellina en el filón principal de El Horcajo (Crespo Lara, 1972). Se ha observado de forma masiva, muy alterada, asociada con calcopirita y cuarzo, siendo más bien escasa.



Bornita

- **BOURNONITA**

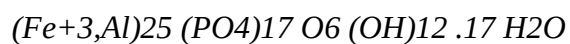


Es un mineral frecuente en las mineralizaciones del Valle de Alcudia, aunque en El Horcajo sólo se ha encontrado en forma microscópica como inclusiones dentro de la galena (Palero, 1991). Con mayor abundancia se presenta en la cercana mina “La Salvadora”, donde aparece como granos aislados de tamaño milimétrico.



Bournonita

- **CACOXENITA**





Es el fosfato de hierro más abundante de El Horcajo. Aparece siempre cristalizado, en los huecos y fisuras de las cuarcitas ordovícicas que limitan hacia el Norte del criadero, en una paragénesis típica de hierros fosfatados depositados sobre una superficie de óxidos de hierro.

La mineralización de fosfatos de hierro fue cortada por las obras del túnel del AVE, y depositada en los vacíos del mismo, tanto en la zona del poblado minero, como al borde del terraplén en la boca Norte del túnel. En ambos sitios es posible encontrar la típica paragénesis de fosfatos de hierro, donde hasta ahora se han identificado: cacoxenita, beraunita, dufrenita, strengita y turquesa, así como posible kidwellita.

Normalmente, la cacoxenita (también denominada cacoxeno) se presenta en forma de cristales aciculares de un bello color dorado y fuerte brillo sedoso, en agrupaciones fibroso-radiadas de hasta 1 cm de diámetro, o bien como caprichosas agrupaciones afieltradas, en este caso de un color amarillo, ocre o crema, y carentes de brillo sedoso. Mucho más escasos y buscados son los cristales prismáticos hexagonales de color marrón oscuro a marrón amarillento, transparentes y con fuerte brillo vítreo, encontrándose bien aislados o en grupos radiales que pueden llegar a configurar una perfecta esfera de superficie irregular debido a un desarrollo convexo del pinacoide. Estas esferas pueden alcanzar varios milímetros de diámetro, si el ancho de la fisura lo permite, y normalmente se desarrollan sobre una fina película criptocristalina de aspecto aterciopelado de un óxido de hierro que por su baja cristalinidad no ha podido ser identificado por el momento. Estos cristales, si bien con una morfología muy simple constituida por el prisma hexagonal y el pinacoide, se encuentran posiblemente entre los mejores ejemplares a nivel mundial para la especie.

La cacoxenita es el último fosfato de la paragénesis en formarse, por lo que se encuentra asociado normalmente a otros fosfatos de hierro (beraunita, strengita...), y de forma muy característica a la turquesa. La identidad de la especie ha sido confirmada mediante análisis de polvo por difracción de rayos-X (Gordillo Piñán, 1992).

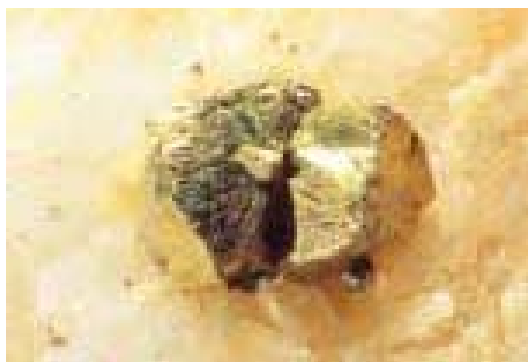


Cacoxenita

- **CALCOPIRITA**

Cu Fe S₂

En El Horcajo se encuentra acompañando a la galena argentífera (Calderón, 1910). Es un mineral relativamente frecuente en este yacimiento, presentándose de forma masiva y en pequeños cristales de 3 mm - 4 mm sobre ankerita y cuarzo, asociada a galena y cobres grises.



Calcopirita



▪ **CALCOSINA**



Es un mineral común en la zona de alteración del filón de la mina “San Germán”, aunque siempre aparece de forma masiva, de color gris azulado característico, asociado con cobre nativo, cuprita, plata nativa, goethita y piromorfita. También apareció en el túnel de La Garganta, situado al Sur de la aldea de El Horcajo.



Calcosina

▪ **CERUSITA**



Calderón (1910) indica que su abundancia aumentaba, junto con la de la piromorfita, a partir de los 80 metros de profundidad de las explotaciones, recuperándose bellas agrupaciones cristalizadas en celosía.

En tiempos recientes se han recogido buenos cristales en las escombreras. Tienen hábito prismático y tabular, y normalmente se presentan con estriación vertical y maclados. El color oscila entre incoloro, crema, blanco y ocre, y el tamaño de algunos cristales puede superar el centímetro. Más raros son los cristales de tonos anaranjados con formas bipiramidales agudas que crecen sobre una alfombra de cristales de goethita, asociados también con piromorfita.



De forma masiva también es abundante en estas minas, en masas cristalinas, compactas, grisáceas por pequeñas inclusiones de galena, en cuyas oquedades se desarrollan cristales de piromorfita, linarita y posible caledonita.

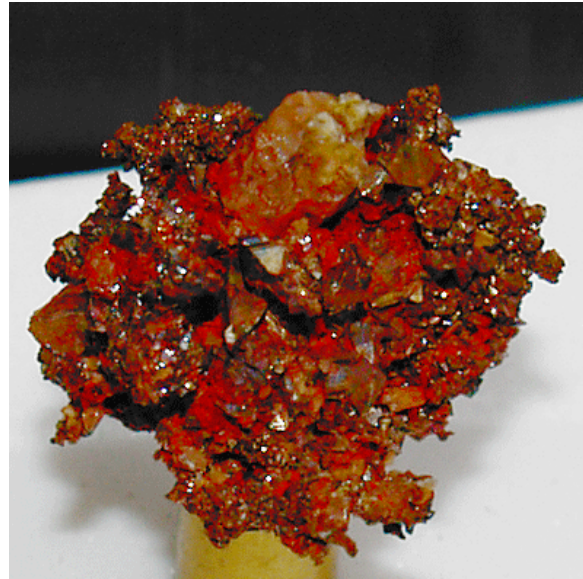


Cerusita

▪ **COBRE NATIVO**

Cu

Procedente de El Horcajo la cita por vez primera Calderón (1910), bajo la forma de cristales incluidos en vetas de pirita. Se ha encontrado con cierta abundancia en la mina “San Germán”, en masas de goethita que contiene calcosina, cobre nativo y piromorfita. El hábito más frecuente es el masivo, en láminas, planchas, y filamentos arborescentes. Más raros son los cristales, bien aislados (2 mm - 3 mm) o en grupos de hasta 15 mm de largo, con caras dominantes de cubo y octaedro. Presenta un color rojizo por alteración en la superficie de los cristales. Sin embargo, un tratamiento con ácido deja las superficies brillantes y de color cobre característico. A veces se encuentra intercrecido con plata nativa, siendo ésta mucho más escasa. Otras veces aparece en el núcleo de agregados fibroso- radiales de goethita. Actualmente es difícil encontrar grandes masas de cobre nativo en las escombreras, y sólo una búsqueda con un detector de metales ha facilitado la recogida de algunas muestras en los últimos años.



Cobre Nativo

▪ CORONADITA



Es uno de los nuevos minerales de estas minas identificados durante este estudio (análisis realizados por J. González del Tánago, com. pers.). Se presenta en forma de agregados globulares, arriñonados, de superficie aterciopelada y color negro intenso. Es uno de los primeros minerales secundarios en formarse, por lo que constituye la matriz donde se desarrollan cristales de plumbogummita y una generación tardía de piromorfita.



Coronadita



- **COVELLINA**

$Cu S$

Se encuentra junto con bornita y cobre nativo (Crespo Lara, 1972). Aparece también en pequeños granos y costras cubriendo granos de calcopirita (Palero, 1991).



Covellina

- **CUARZO**

$Si O_2$

Es el mineral más frecuente de la ganga en los yacimientos de El Horcajo, sobre el que se desarrollan frecuentemente cristales de piromorfita y otros minerales secundarios. Se reconocen dos generaciones, una de cuarzo masivo y lechoso, y otra de pequeños cristales prismáticos de aspecto hialino. Los cristales suelen ser de tamaño milimétrico.



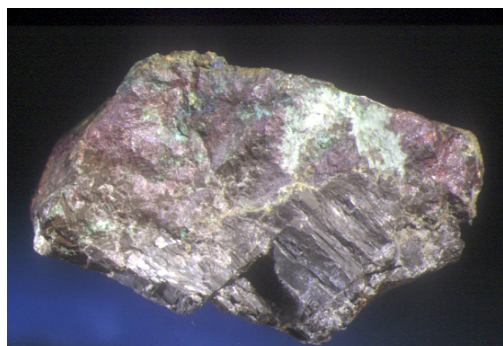
Cuarzo

- **CUPRITA**

Cu₂O

Según Calderón (1910), existen muestras en el museo de Ciencias Naturales de Madrid procedentes de Almodóvar del Campo (Ciudad Real), que podrían proceder de El Horcajo (ya que estas minas se encuentran en su término municipal).

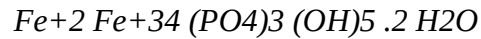
Se ha constatado su presencia en forma de pequeños cristales cubo-octaédricos en la mina “San Germán”, intercrecidos con cobre nativo, en parte cubiertos de malaquita, rellenando los huecos y cavidades de la goethita. Normalmente estos cristales son de pequeño tamaño, sobrepasando raramente los 2 mm de arista, opacos y poco brillantes.



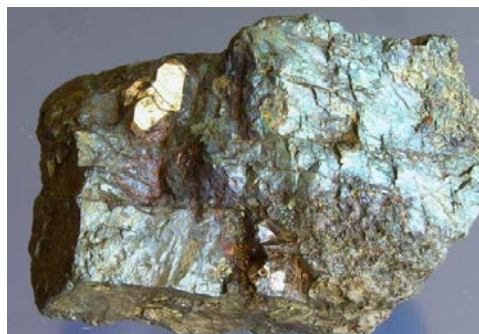
Cuprita



▪ DUFRENITA



Se encuentra este mineral asociado con beraunita en las fisuras de las rocas cuarcíticas de la zona de El Horcajo, siendo el primer mineral en formarse en la paragénesis de fosfatos de hierro de esta localidad. Forma agregados radiales de estructura concéntrica y color verde oscuro a marrón-verdoso, de hasta 4 mm de diámetro. No es muy frecuente, y hasta ahora sólo hemos identificado algunas escasas muestras de este mineral en las escombreras.



Dufrenita

▪ GALENA



De la galena de El Horcajo, Calderón(1910) indica que es argentífera y antimonífera, no siendo rara la cristalizada en cubos o cubo-octaédros, en parte sulfatada, y en ocasiones recubierta de alambres y filamentos de plata nativa.

Efectivamente, los análisis realizados en épocas recientes ponen de manifiesto un importante contenido en plata y antimonio (hasta 2.800 ppm y 3.400 ppm respectivamente, en los concentrados de galena).



Si bien era el mineral principal producto de la explotación, no destacaron especialmente los ejemplares de esta especie como tal, sino más bien por constituir la matriz donde se desarrollaron frecuentes cristalizaciones de plata nativa en alambres, a veces en ejemplares de varias decenas de centímetros. En general se presentaba en los filones en forma de “alcohol de hoja”, en grandes masas espáticas y gruesamente granuda.



Galena

- **GOETHITA**

Fe O OH

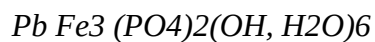
Es un mineral ubicuo en las zonas alteradas de los filones de las minas de El Horcajo, encontrándose normalmente en forma de cristales aciculares que cubren y tapizan las geodas de cuarzo o de goethita masiva, de un color marrón oscuro a marrón dorado que han llegado a confundirse con cacoxenita. Su identidad ha sido confirmada por difracción de rayos- X.

También aparece en estas minas en forma de masas botroidales, mamelonar, arborescente, negras, brillantes y aterciopeladas, sobre las que se desarrollan cristales de piromorfita, cerusita, etc.



Goethita

▪ **KINTOREITA**



En el curso de un estudio analítico mediante microsonda electrónica de los minerales secundarios de El Horcajo se identificaron en el año 1994 unos ejemplares que recordaban, en parte, a los cristales de plumbogummita de esta localidad, pero de un color amarillento a marrón oscuro que hacía presagiar que pudieran corresponder con algún otro término del grupo alunita-jarosita. Los análisis efectuados indicaron la presencia fundamental de Pb, Fe y P, con poco Al y ausencia de azufre, por lo que se describieron como “lusungita” en el artículo que fue publicado en el número 0 de la revista Bocamina. Un año después, el mineral era redefinido como una nueva especie por Pring et al. (1995), basándose en ejemplares de “Kintore Open Cut”, en Broken Hill (Australia), de donde toma el nombre, los cuales son en todo idénticos en apariencia a los de El Horcajo. En esta última localidad se presenta en cristales romboédricos agudos, con tamaños que no suelen superar los 2 mm. No es especialmente rara, y aunque es un mineral tardío (a veces se encuentran cristales sobre piromorfita y goethita), también se han encontrado “moldes” de cristales de kintoreita epimorfizados por “limonita”.



Kintoreita

- **LINARITA**



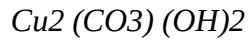
Se cita por primera vez en El Horcajo por Sáinz de Baranda (1991). En esta localidad es un mineral frecuente aunque escaso, apareciendo normalmente como cristales tabulares aislados crecidos en los huecos de la galena, o bien en grupos de cristales aciculares que se desarrollan en las cavidades de la cerusita masiva, de un color azul intenso, y tamaños que raramente superan los 2 mm. También se ha reconocido en forma decostras de diminutos cristales en la mina San Germán, junto con cerusita, anglesita y supuesta caledonita.



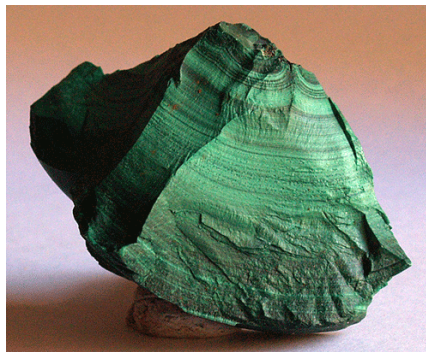
Linarita



▪ MALAQUITA



Se ha encontrado como producto de alteración de la calcopirita, en forma de masas pulverulentas y pequeños grupos esféricos, de estructura fibroso-radiada.



Malaquita

▪ PIRITA



Es un mineral relativamente frecuente en las mineralizaciones de El Horcajo, si bien actualmente se encuentra muy alterado y normalmente de forma masiva. Aparece en masas granudas relacionadas con el cuarzo y en pequeños cubos sobre ankerita y junto con la calcopirita.



Pirita



▪ PIROLUSITA

Mn O₂

Se ha encontrado en El Horcajo, como pequeños cristales tabulares de tamaños submilimétricos y color plateado, sobre cuarcita. Es un mineral muy escaso.



Pirolusita

▪ PIROMORFITA

Pb₅ (PO₄)₃ Cl

“Los más hermosos ejemplares de España ...se recogen con abundancia en las minas de Horcajo, La Veredilla y el Valle de Alcudia, por la parte de Navalmedio”.

Así comienza Calderón (1910) la descripción de la piromorfita en la Región de Castilla, y continúa informando de dónde se encuentran los mejores ejemplares (uno de los cuales es representado en una fotografía anexa de su trabajo), y de los hábitos frecuentes de ésta.

Las piromorfitas de El Horcajo son mundialmente conocidas por la riqueza morfológica de sus cristalizaciones. Hasta un total de 28 formas diferentes han sido descritas por Pardillo y Gil (1916), de las cuales 9 eran formas ya conocidas anteriormente en piromorfitas de otras localidades (la siguiente localidad en abundancia de formas



conocida en aquella época era Diahot, en Nueva Caledonia, con 10 formas diferentes descritas por Lacroix). Localidades clásicas como Friedrichsseggen, Ems, o Sarrabus, Cerdeña, únicamente contaban con 4 ó 5 formas conocidas, los prismas (1010), (1120), la bipirámide (1011), y por supuesto el pinacoide (0001). Estas formas son igualmente las más frecuentes en las piromorfitas de El Horcajo, apareciendo también entre las formas conocidas (2130), (2021), (2131), (3034), y (5054), y entre las formas nuevas (6067), (90910), (6065), (9097), (4043), (7075), (3032), (8085), (5053), (7074), (8087), (3031), (4154), (4152), (20 5 25 8), (9 3 12 5), (15 5 20 7), (12 4 16 3), y (8 4 12 1), éstas últimas nueve consideradas como raras, inseguras y “vecinas”.

Además, estos autores describen 3 leyes de maclas hasta entonces desconocidas, a saber, (2243), con cuatro ejemplares reconocibles, (1011), con 2 ejemplares, y (4045), únicamente reconocible en un ejemplar.

El hábito más frecuente encontrado en la piromorfita de El Horcajo es el prismático, con gran desarrollo del prisma (1010), estriado horizontalmente en la mayoría de los casos, con caras lisas subordinadas de los prismas (1120) y (2130), que se manifiestan como un estrecho bisel que modifica las aristas del prisma, y terminados en la base (0001), siendo muy frecuente también la aparición de la bipirámide (1011), y menos la (2021). Los pinacoides pueden mostrar superficies planas, o bien superficies constituidas por motivos hexagonales en relieve que se ponen de manifiesto por iluminación bajo una intensa luz reflejada.

Los cristales aciculares son también frecuentes, siendo característicos de esta localidad los grandes ejemplares centimétricos constituidos por cristales prismáticos largos a aciculares, de tono verde manzana intenso, que se recuperaron durante las primeras etapas de la explotación de la mina.

En otros casos, la distinta velocidad de crecimiento de las caras del prisma respecto a los pinacoides basales origina cristales “huecos” o en tolvas. También es frecuente la superposición de distintas generaciones de cristales de piromorfita, especialmente



cristales aciculares que crecen perfectamente orientados sobre individuos más gruesos preexistentes.

Mucho más escasos son los cristales tabulares, con escaso desarrollo prismático y pequeñas caras piramidales. En estos casos, los cristales suelen aparecer individualizados, y su tamaño también es menor.

En la mina “San Germán” son más frecuentes los hábitos abarrilados de perfil convexo; el color de las piromorfitas de esta mina suele ser invariablemente de un marrón rosado muy característico.

El color de la piromorfita de El Horcajo es también muy variado, desde el incoloro con transparencia absoluta, al blanco, grisáceo, negro, amarillo melado, pardo o marrón a rosado. Los tonos amarillos pasan gradualmente al verde, que está representado por una amplia gama de tonalidades.

No son raros los zonados de color y transparencia dentro de un mismo cristal, más patentes por el alto contraste entre las zonas internas, opacas y amarillas, y las externas, transparentes y verdes. Los zonados pueden ser paralelos o perpendiculares al eje c. Normalmente, ambos tipos son mutuamente excluyentes, y rara vez se presentan simultáneamente en un mismo cristal. Un zonado característico es el de “reloj de arena”, por repetición de láminas en secuencias simétricas respecto al centro del cristal, y progresivo aumento de su superficie hacia los pinacoides.

Un estudio más reciente de la piromorfita de El Horcajo realizado por Caballero et al. (1973) ha puesto de manifiesto que se trata de ejemplares muy puros, con casi nulas sustituciones de Pb por Ca y Sb, y de P por As. Sin embargo, un estudio más sistemático sobre la composición de cristales zonados podría aportar alguna luz sobre el origen del mismo.



Piromorfita

▪ PLATA NATIVA

Ag

Es citada por Quiroga (1894), capilar, sobre galena. Más detalles aporta Calderón (1910), quien la describe además en forma filamentosa procedente de una zona profunda de la mina “Ana Maria” y en planchas sobre cuarzo. Desde luego, debió ser un mineral frecuente en el filón “Ana María”, pues entre los ejemplares de mineral seleccionados por Ceferino Avecilla para su informe como Director Gerente sobre el estado de las minas en el año 1878, incluye 18 muestras de plata nativa de los 26 ejemplares seleccionados del filón (incluyendo, además, una piromorfita, 5 galenas y 2 muestras de roca de caja del filón). Un año antes recibían los museos de Historia Natural y de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid dos muestras de plata nativa filamentosa sobre cristales cubo-octaédricos de galena procedentes de la mina “Nuevo Perú”.

Del Pozo “Argentino” salieron abundantes muestras de plata en rama durante los primeros periodos de explotación de las minas. Se encontraba frecuentemente en los hastiales del filón “Alberto”, en forma de filamentos incluidos en una arcilla que los mineros llamaban “calichón” (Hervada, 1894). También se encontraba de forma masiva, aunque bajo el microscopio se apreciaba una estructura fibrosa. Para recuperar con más facilidad esta plata en la explotación, los mineros recubría la galería con arcilla antes de



la explosión durante las fases de arranque (informe inédito de la Memoria de Laboreo realizada en el año 1894 por Hilario Hervada).

Actualmente es difícil encontrar algún ejemplar de plata nativa en las escombreras de las minas. Estos suelen ser grupos arborescentes y filamentosos de hasta 5 mm de longitud máxima, que crecen libremente en las oquedades de la cuarcita, junto con piromorfita de color marrón-verdoso.

Algo más frecuente aparece actualmente en las escombreras de la mina “San Germán”, en forma de pequeños alambres y masas arborescentes sobre goethita, y siempre asociada con cobre nativo.

Destacamos por su singularidad una importante donación de un ejemplar de plata nativa capilar recibida en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid en el año 1877, regalo de Avecilla y Compañía, cuya carta de acompañamiento se transcribe textualmente por su interés:

Madrid 5 de Febrero de 1877. Muy Sr. nuestro: En la explotación de uno de los filones de galena argentífera de nuestra mina denominada “NUEVO PERU” que se halla situada en la bajada del Puerto del Horcajo, en la vertiente meridional de Sierra Morena, término municipal de Almodóvar del Campo, provincia de Ciudad Real, se han hallado en las paredes de pequeñas oquedades, adherencias de plata nativa en hilos capilares.

Se presentó últimamente una oquedad de mayores dimensiones, de cuyas paredes se recogieron unos seis kilogramos de estos hilos y se arrancaron dos muestras que miden próximamente 0,30 metros cuadrados cada una, y que creyéndolas de un mérito especial, ha acordado esta Compañía regalarlas a los Gabinetes de Historia Natural y Escuela de Ingenieros de Minas.

Rogamos a V. se digne aceptar una de ellas, que le remitimos, y aprovechamos con gusto esta ocasión de ofrecernos de V. atentos s. s. q. B. S. m.

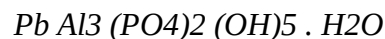


Avecilla y Cía.



Plata Nativa

▪ **PLUMBOGUMMITA**



Reconocida por primera vez en El Horcajo por Sainz de Baranda (1994). Es un mineral muy abundante en estas minas, aunque por su aspecto pasa muchas veces desapercibido. Se encuentra en forma de cristales romboédricos, transparentes e incoloros, a veces con un débil tinte azulado, tapizando grandes superficies de la cuarcita, y formando la matriz para una generación tardía de cristales de piromorfita. Asimismo aparece en grandes agregados cristalinos con huecos tapizados por pequeños cristales de coloración blanca, grisácea, rosa o verde azulado. Los análisis realizados indican una gran pureza de los ejemplares, con un contenido muy bajo en Fe, As y S, y trazas de Cu, por lo que su composición es casi estequiométrica, y varía entre $Cu_{0,02} Pb_{0,98} Al_{2,88} (PO_4)_2$ hasta $Cu_{0,02} Pb_{0,99} Al_{3,02} (PO_4)_2$ (datos proporcionados por J. González del Tánago, com. pers.). Bajo suficientes aumentos, como en una imagen SEM, se aprecian perfectamente los trapecios triguales de los cristales de plumbogummita.

Otra morfología característica de la plumbogummita de El Horcajo es como recubrimientos de cristales de piromorfita, a los cuales llega a sustituir por completo, formando bellas pseudomorfosis que conservan la morfología hexagonal del cristal



primitivo, o bien epimorfos sobre cristales de piromorfita ya desaparecidos, muy similares a los clásicos ejemplares de las minas “Roughton Gill” y “Dry Gill”, en el distrito minero de Caldbeck Fells, Cumbria (Cooper y Stanley, 1990).



Plumbogummita

- **STRENGITA**

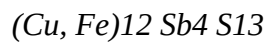


Es el fosfato más escaso en la paragénesis de hierros fosfatados de El Horcajo. Hasta ahora sólo se han encontrado unos pocos ejemplares en la zona de las escombreras de las minas, en forma de pequeños cristales (1 mm - 2 mm) de color rosado o incoloros y transparentes, en agrupaciones en abanico tan características para la especie, asociados con cacoxenita y beraunita. Es uno de los últimos fosfatos en formarse, aunque anterior a la cacoxenita. También se ha identificado formando agregados esféricos semitransparentes, acompañando a la cacoxenita. Estos agregados ofrecen una superficie rugosa compuesta por el crecimiento orientado de múltiples individuos.



Strengita

▪ **TETRAEDRITA**

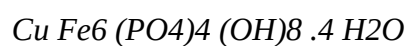
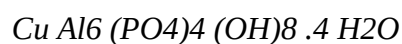


En El Horcajo ha sido reconocida solamente a nivel microscópico como inclusiones en la galena (Palero, 1991). Calderón (1910) la cita junto con calcopirita en forma de tetraedros sobre ankerita. Se encuentra también en la mina “La Salvadora” (Palero, 1991).



tetraedrita

▪ **TURQUESA CALCOSIDERITA**





Es el último fosfato que se ha identificado en la paragénesis de hierros fosfatados de El Horcajo, a pesar de que no resulta raro, apareciendo tanto en los terraplenes del AVE junto a la boca Norte del túnel (en forma de vetillas azuladas en la cuarcita y cristales azul-verdosos de hasta 2 mm, tapizando grandes superficies de la roca), como en la zona de escombreras del poblado minero de El Horcajo. En este último caso en forma de bolas verdes o verde-azuladas “pinchadas” por cristales aciculares de cacoxenita, o bien constituyendo el núcleo de formaciones radiadas de ésta.

Se han analizado los cristales azulados de la zona de la boca Norte del tunel del AVE, que corresponden a turquesas con un contenido muy bajo en hierro (J. González del Tánago, com. pers.), y también se analizaron los cristales verdosos asociados con cacoxenita, que han resultado ser soluciones sólidas de la serie turquesa-calcosiderita.



Turquesa calcosiderita

▪ OTROS MINERALES

Sin analizar, y con carácter dudoso, se pueden citar los siguientes sulfatos que se encuentran asociados normalmente a la linarita y calcopirita: serpierita, caledonita y brochantita; también entre los fosfatos no analizados por su escasez o pequeño tamaño podría encontrarse posible kidwellita, en glóbulos marrónamarillentos a verdosos, junto con la cacoxenita. Entre los productos de alteración de la galena se han encontrado masas pulverulentas y costras amarillentas que casi con toda seguridad corresponden a bindheimita.



Otros minerales citados por Palero (1991), y que aparecen normalmente sólo a nivel microscópico, son los siguientes: “platas rojas” (posiblemente pirargirita) de El Horcajo, stannina (mina “La Salvadora”) y linneita (mina “La Salvadora”), o la arsenopirita, citada a nivel microscópico por Crespo Lara (1972) procedente del filón principal de El Horcajo. Como clorargirita se ha citado con procedencia de El Horcajo la variedad “huantajayita”, una mezcla mecánica de clorargirita y halita, (Galán y Mirete, 1979). La marcasita es citada por Crespo Lara (1972) entre los minerales descendentes de El Horcajo. La yodargirita acompaña a la piromorfita y cerusita de El Horcajo (Calderón, 1910).

Por último, señalar la posible presencia de minio, que correspondería a un mineral de color rojizo y de aspecto pulverulento sobre piromorfita o intercrecido con plumbogummita (a la que transfiere un característico color rosado), que pudiera corresponder a esta especie, si bien no ha podido confirmarse con análisis específicos.



1.3.1.2. -ALDEA MORET

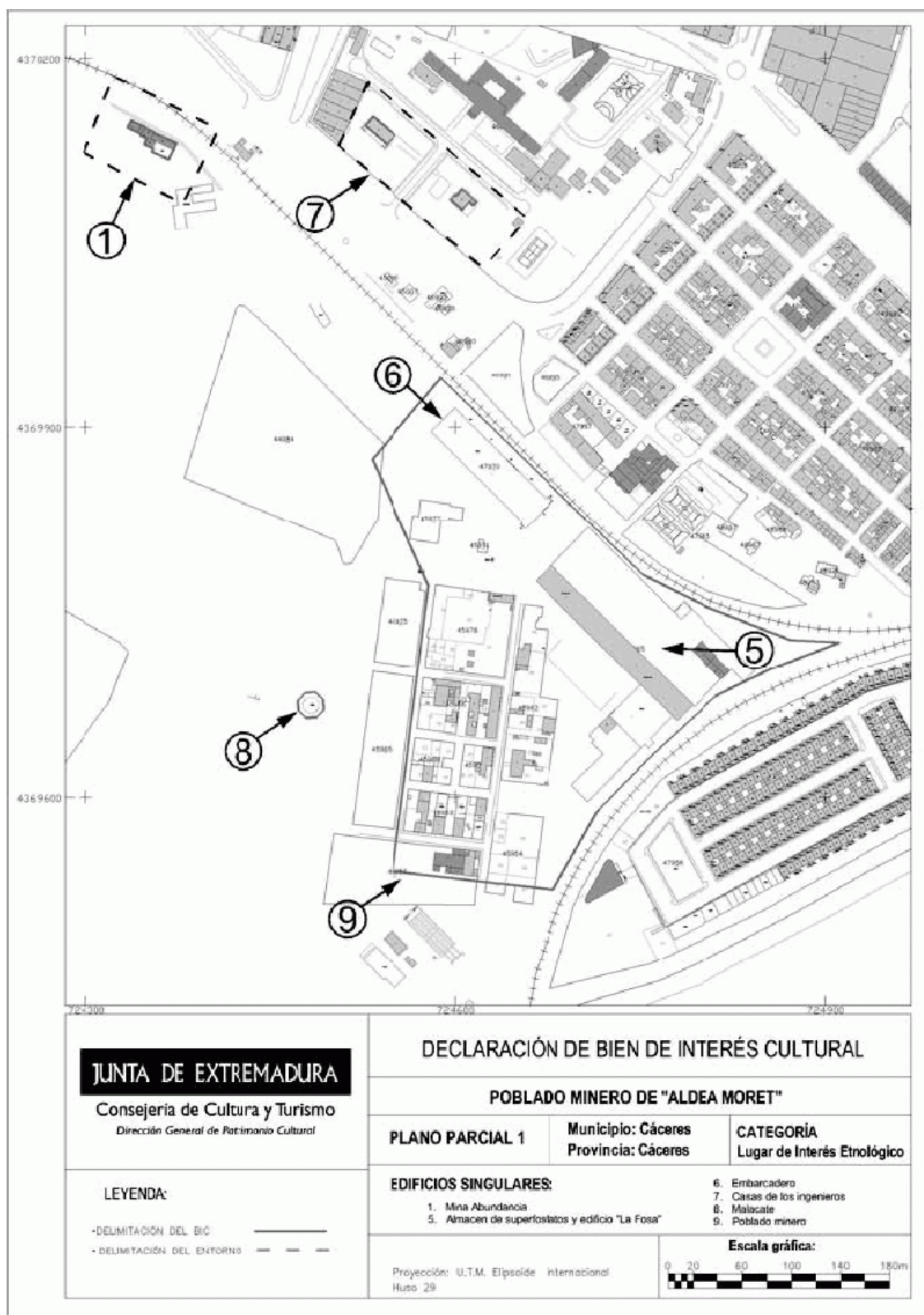
Los yacimientos mas importantes de fosfatos de la Península Ibérica están situados en el Macizo Hesperico, donde los yacimientos de fosforita (apatito, variedad fibroso-radiada, dahllita), definen “holotipo” a nivel mundial.

Los yacimientos de fosfato de Extremadura son de dos tipos; “filoniano” y “estratiforme”. Los yacimientos filonianos, con gran representación en la Comunidad, están asociados a granitos y se presentan en grupos de filones que pueden se intra o extrabatolíticos. Los yacimientos estratiformes se presentan como diseminaciones de carácter masivo en rocas carbonatadas del carbonífero inferior.

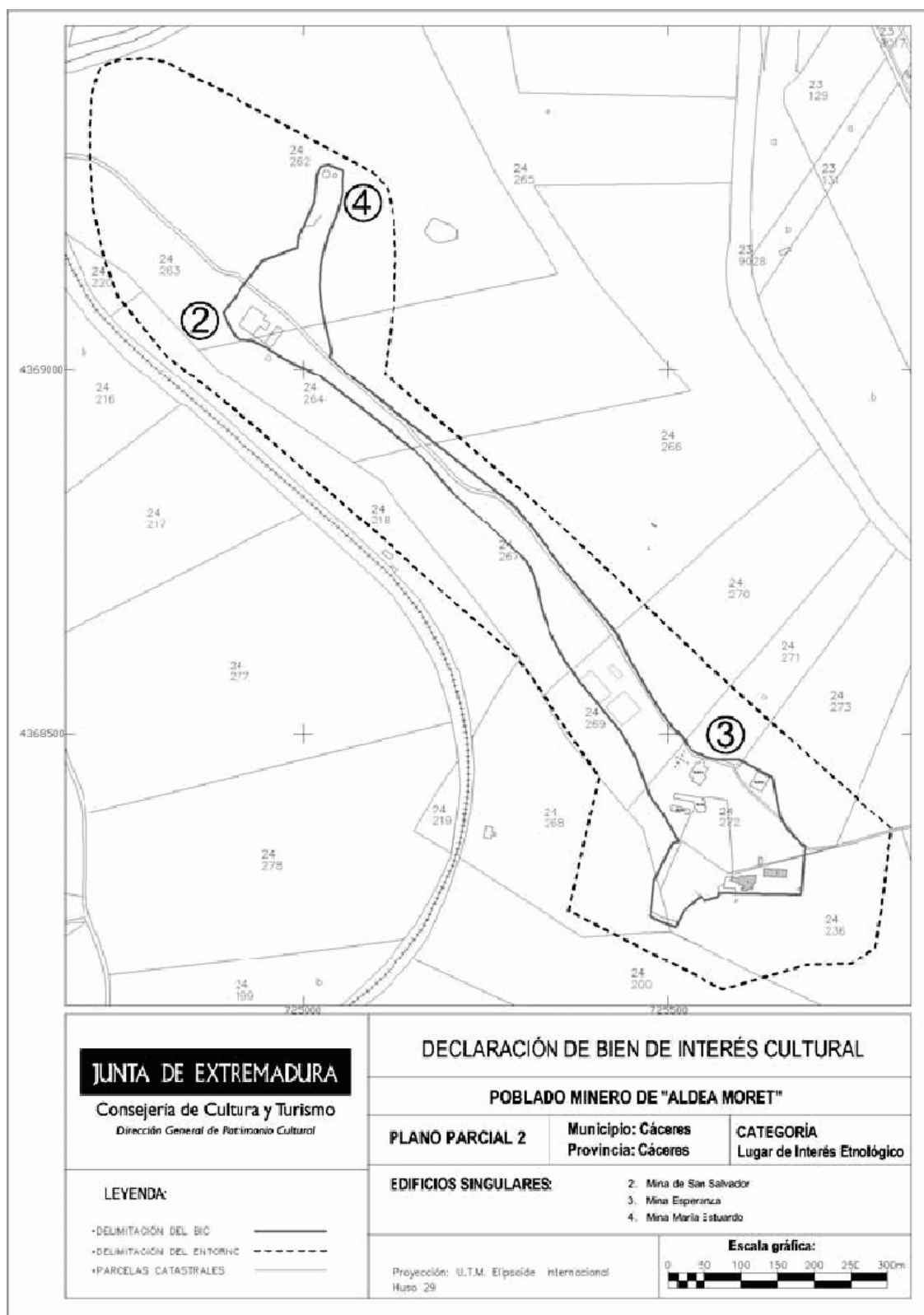
Aldea Moret es un antiguo municipio de la provincia de Cáceres situado a 2 kilómetros del centro de la ciudad de Cáceres y actualmente integrado dentro del casco urbano de la misma, a una altura de unos 465 metros sobre el nivel del mar y al pie de una loma de baja altura.



Antiguo pozo en ruinas



Poblado minero de Aldea Moret



Poblado minero de Aldea Moret



En la segunda mitad del siglo XIX se descubre fosfato en el contacto entre calizas y cuarcitas y la sociedad cacereña “*La Fraternidad*” se encarga de su extracción y explotación a mano.

Desde 1886 se exporta a Inglaterra, Alemania, Francia, Bélgica y Holanda un mineral de acreditada calidad, que lleva a Segismundo Moret y Prendergast, político gaditano del partido liberal que fue seis veces ministro con Sagasta y llegó tres veces a la Presidencia del gobierno, a adquirir los derechos del floreciente coto minero en 1876. Por su iniciativa se creó el primitivo Barrio de Moret y se construyó el ferrocarril en 1880 que enlaza Cáceres con Lisboa, lugar de embarque de los fosfatos hacia Europa.

Los altibajos en la producción, que siempre marcaron el desarrollo del núcleo urbano de Aldea Moret, ponen en peligro su supervivencia en los últimos años del siglo pasado.

La Sociedad General de Industria y Comercio, propietaria de las instituciones en esa época, las mejora y enriquece con elementos nuevos, que hacen del conjunto minero-fábril una empresa modelo en su tiempo.

El grupo humano se afianza definitivamente y la continua afluencia de familias, que procedentes en buena parte del área rural circundante, construyen sus precarias viviendas junto a los pozos de extracción, obliga al municipio de Cáceres a controlar el incipiente chabolismo mediante la ordenación urbana del núcleo conocido como Barriada Nueva en los años treinta. En conjunto la primera mitad de este siglo registra un crecimiento vegetativo sorprendente, en virtud de la reactivación de las explotaciones mineras, con saldos migratorios de 1.129 individuos en los años cuarenta y de 424 en los cincuenta.

Esta evolución al alza de un grupo que vive por y para la industria se corta bruscamente en la década siguiente cuando la Unión Española de Explosivos, última propietaria del coto minero, presenta expediente de crisis.



Las causas, aunque complejas, se fundamentan en una desfavorable posición geográfica, alejada de cualquier puerto, y la irrupción en el mercado de los fosfatos saharauí, muchos más competitivos que los cacereños, por su extracción a cielo abierto.

El cierre de la mina Abundancia en 1960 simboliza el giro que experimenta la barriada. La población decae desde el máximo absoluto que registra ese año con 3.603 habitantes y no se recupera hasta la década de los ochenta. Con la reducción de la plantilla de Unión Española de Explosivos, un numeroso grupo de familias se desplaza a otras provincias donde la misma empresa les ofrece trabajo. Pero el barrio de Aldea Moret no desaparece. Su proximidad a Cáceres le preserva de la decadencia que sufren estos poblados cuando las actividades cesan y comienza a vivir de cara a la capital.

El poblado minero logró hace un par de años la máxima protección al ser declarado Bien de Interés Cultural (BIC). De este modo, el 20 de mayo de 2011 entró en la élite de los 270 monumentos extremeños con requisitos muy especiales de conservación: no puede realizarse una sola reforma sin el visto bueno administrativo, y cualquier daño acarrea elevadas multas que van de 60.000 euros hasta 1,2 millones.



1.3.1.3. -LOGROSÁN

Logrosán es un municipio español, en la provincia de Cáceres. Se encuentra situado en la comarca de las villuercas, limitando su término con la provincia de Badajoz

La Mina Costanaza, abandonada desde 1946, forma parte del proyecto Minas de Logrosán, la cual poseía un rico patrimonio minero de estaño (casiterita (SnO_2)) y fosfato (fluorapatito ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$)), explotado desde tiempos prehistóricos. Es una mina de interior cuya explotación llega hasta los 210 metros de profundidad; de ella se pueden visitar en la actualidad los dos primeros niveles de galerías.

Los filones de fosforita de Logrosán son yacimientos peribatolíticos. La población se encuentra a los pies de un plutón granítico aflorado denominado Sierra de San Cristóbal cuya formación hace unos 350 millones de años generó unos fluidos de contacto que rellenaron las fallas tectónicas existentes en el macizo de pizarras proterozoicas que conforma el actualmente arrasado anticlinal de Logrosán, formando al cristalizar cinco filones de fosforita en las inmediaciones del stock granítico. De ellos, el filón Costanaza ha sido explotado económicamente desde el siglo XIX y hasta mediados del XX como mina de fosfato para la fabricación de abono.



Antigua galería



La fosforita fue documentada por primera vez en el siglo XVIII por Guillermo Bowles en Logrosán de forma casual. A partir de este hallazgo, Luis Proust publicó en 1779 un artículo sobre el nuevo descubrimiento que tituló “La piedra fosfórica de Extremadura”. En el siglo XIX, con la revolución industrial, se ponen en cultivo grandes extensiones de terreno y se dispara la demanda de abonos para la agricultura. La búsqueda de nuevas fuentes de materia prima para atender esta demanda atrae a las compañías mineras inglesas a Logrosán en busca de la piedra fosfórica de Proust y en 1863 comienzan los trabajos mineros en el filón Costanaza. En 1907 se abre el Pozo María que se convertirá en la principal mina de fosfato europea en los años 20.



Mina costanaza (Logrosan)

La mayor parte del mineral se transformó en la fábrica de Abonos Mirat, en Salamanca, a donde se transportaba el molido, y en la fábrica que Fosfatos de Logrosán, S.A. estableció en Villanueva de la Serena desde 1922 en que se constituyó la sociedad.



Existen, no obstante, los restos de una antigua fábrica de abono en las instalaciones mineras de la Costanaza en la que se transformó el mineral cuya ley era inferior al 60% ya que no resultaba rentable su transporte. Quedan también restos de una antigua fábrica de ácido sulfúrico que se construyó para el suministro de este ácido utilizado en la elaboración del superfosfato (abono) para hacer soluble el concentrado de fosforita. Para el transporte del molido se emprendió en 1926 la construcción de una línea ferroviaria entre Villanueva de la Serena, Logrosán y Talavera de la Reina. Después de la Guerra Civil se abandona la construcción del trazado ferroviario; dificultades para atravesar el macizo montañoso de Las Villuercas y el bajo precio de los abonos debido a la explotación de los yacimientos norteafricanos, mucho más baratos, hacen que las minas de Logrosán dejen de ser rentables y la inversión en el ferrocarril no tenga sentido. En 1944 se detiene la explotación y en 1946 la mina se cierra definitivamente.

.



1.3.2. –ANTECEDENTES INTERNACIONALES

1.3.2.1. -BU-CRAA

Marruecos posee una parte importante de las reservas mundiales de fosfato. Es el primer exportador mundial de fosfato y derivados (con una cuota del 31,7 %). La investigación, explotación, transformación y comercialización del fosfato son monopolio del Estado, que lo ejerce a través de la OCP S.A. El ramo emplea a 18 000 personas, es decir, el 50,2 % de los trabajadores del sector minero; de ellos la gran mayoría trabajan directamente para el Grupo OCP.

La OCP cuenta con cuatro centros de extracción de fosfato de roca (Khouribga, Benguerir, Youssoufia y Boucraa/Laayoune), dos fábricas de transformación para la producción de ácido fosfórico y derivados (Safi y Jorf Lasfar) y plataformas portuarias de distribución en Casablanca, Jorf Lasfar, Safi y Laayoune.

En 2008, la extracción de fosfato de roca alcanzó los 27,16 millones de toneladas, de los cuales 24,45 millones fueron comercializables, y las exportaciones en valor alcanzaron 6,9 billones de dólares.

El Grupo OCP es el mayor exportador mundial de fosfato en todas sus formas. Su participación en el mercado mundial fue del orden del 40% en 2008 en fosfato de roca, del 38,4% en ácido fosfórico y del 8,4% en fertilizantes. Los principales mercados de exportación de Marruecos son los Estados Unidos (2,6 millones de toneladas), España (1,7 millones de toneladas), India (1,1 millones de toneladas), y Brasil (1,1 millones de toneladas). El canon aplicable a la explotación de los fosfatos (de 34 dirhams por tonelada exportada de fosfatos en bruto o elaborados), que comprometía seriamente la competitividad de los productos de la OCP, fue suprimido en 2008. En el primer semestre de 2010, las exportaciones de fosfatos y sus derivados crecieron en 79% respecto al mismo periodo de 2009, lo que anuncia un ejercicio excepcional para la OCP.



La OCP S.A. persigue una nueva estrategia, consistente en abrir su plataforma de Jorf Lasfar a la participación de inversores extranjeros. El Jorf Phosphate Hub (JPH) aspira a convertirse en el mayor centro mundial de producción de abonos a base de fosfatos. La OCP S.A. ofrecerá a los inversores extranjeros una infraestructura mancomunada "plug

and play", para que puedan invertir por cuenta propia en capacidades de producción de abonos en territorio marroquí. La OCP S.A. ha puesto en marcha un ambicioso programa de inversiones mineras con miras a incrementar su producción. En particular, está prevista la apertura de tres minas nuevas en Khouribga y la construcción de una tubería para el transporte de fosfatos a la zona portuarias de Jorf (con una capacidad de transporte equivalente a 38 millones de toneladas anuales de fosfato acabado, seco y comercializable) para abaratar el costo del transporte entre Khouribga y el JPH, que hasta la fecha se está realizando por ferrocarril.

Hace cuatro décadas se inicio en el antiguo Sahara Español la explotación de este gran yacimiento de fosfatos con una importante obre de ingeniería.

El 7 de junio de 1970 fue una fecha decisiva para el Sahara Occidental. Empezó la lucha por la libertad. En ese día comenzó a surgir lo que mas tarde se convertiría en el Frente Polisario.

Los saharauis habitaban el Sahara antes incluso de que Marruecos se hubiera convertido en reino y de que Mauritania se hubiera dividido en emiratos, tras la decadencia de los imperio negros. Así lo explicaba el Frente Polisario en un memorándum dirigido, en mayo de 1975, al presidente del Comité de Descolonización de la ONU. Pero, entre tanto, el Frente Polisario mantenía una lucha constante para conseguir su identidad como nación y como pueblo. Primero contra España y después de la evacuación española tras la “marcha verde” de los súbditos del rey Hassan II, contra el colonialismo de Marruecos y de Mauritania.



Hace 42 años España descubrió y puso en explotación, en la que fuera la mayor de sus provincias, el hasta ahora el yacimiento mas importante de fosfatos del mundo, tanto en calidad como en cantidad. Para ellos tuvo que realizar una ingente obra de ingeniería

con la construcción y la instalación de una cinta transportadora de 98,6 kilómetros de longitud, y la construcción de un pantalón de 3.127 metros de longitud, ganando palmo a palmo al mar y que es la salida al exterior, desde hace mucho tiempo, de casi todo el comercio del país.

1.3.2.1.1. -GEOGRAFÍA DEL SAHARA OCCIDENTAL

El Sahara Occidental se halla situado en la parte occidental del continente africano, y en la zona que podemos considerar tropical y subtropical. El trópico de Cáncer corta el territorio a la altura de la punta de Sarga, en la península de Río de Oro. Limita al norte con Marruecos, al nordeste con Argelia, al este y al sur con Mauritania, y al oeste con el Océano Atlántico,; entre los paralelos 27° 40' y 20° 45' de su latitud norte. Tiene una extensión de 280.000 km² y su costa, una longitud de 1.200 kilómetros. Esta recibe la influencia de la corriente marítima de Gulf Stream, por lo que el clima en el litoral es benigno (20-21° C de media anual). En el interior, las temperaturas máximas en épocas de calor superan los 50° C.

La máxima elevación del territorio es el macizo de Amarrasit, en Adrar-Sutuf, con 435 metros sobre el nivel del mar. Enclave de civilizaciones, es riquísima en hallazgos arqueológicos. Su población esta constituida por unos 80.000 habitantes nativos y unos 15.000 de origen europeo.

Las ciudades más importantes son: El Aaiún, la capital; Dakla (Villa Cisneros), Smara y Güera. La ciudad del Aaiún fue fundada en el año 1932 por el teniente coronel De Oro, al amparo del lago natural que se forma en las grandes avenidas del río Saguia El Hamra. En el solar solamente existían unas viviendas y un palmeral, donde habitaba el santón Sidi Buya, de la tribu Chej Ma El Aainín, y una huerta cultivada por algunos sedentarios de la facción de Izargüen. A 25 kilómetros de El Aaiún se encuentra el oasis



del Meseyed, que nos presenta el típico oasis sahariano, con una fuente de agua, una alberca y un palmeral.

La economía del Sahara es pobre, si nos atenemos a la agricultura. Pero, curiosamente, en su subsuelo y en el fondo de sus aguas posee una enorme riqueza que le dan una fisonomía propia. Existen posibilidades de encontrar petróleo, gas natural, hierro, cobre y uranio y, sobre todo, riquísimos yacimientos de fosfatos, ya en plena explotación. Y su fabuloso banco de pesca, entre Cabo Blanco y Tarfaya, uno de los más ricos del mundo y donde faenan, principalmente, las flotas rusa, japonesa, coreana y cubana.

1.3.2.1.2. -EMPRESA NACIONAL MINERAL DEL SAHARA

La Empresa Nacional Minera del Sahara, S.A. (Enmisa) se fundó en julio de 1962 con la misión de estudiar y de valorar las posibilidades de explotación del fosfato existente en el entonces Sahara Español, donde se habían encontrado indicios.

Con su creación se acometió el estudio sistemático del problema de los fosfatos en el Sahara Español, planeándose una campaña de reconocimientos geológicos a fin de determinar las zonas más favorables para la formación de niveles fosfatados. El estudio de los datos obtenidos condujo al descubrimiento del yacimiento de Bu-Craa, situado a unos 100 kilómetros del litoral atlántico.

Desde el primer momento se pudo apreciar la importancia del descubrimiento realizado y, por ello, se proyectó un reconocimiento sistemático de la cuenca fosfatada que permitiera delimitar el yacimiento, a la vez que conocer las reservas del mineral, su ley media y, sobre todo, las posibilidades de explotación económica del depósito de fosfatos. Enmisa realizó todos los trabajos geológicos y de valoración del yacimiento, así como los subsiguientes estudios técnicos y económicos que permitieron establecer los proyectos necesarios para la explotación de la mina, convocando los correspondientes concursos internacionales para el suministro de las instalaciones y de los equipos proyectados, a la vez que ejecutaba las obras de infraestructura necesarias.



Al finalizar esta fase previa al inicio de la explotación, se decidió cambiar la denominación de la empresa por la de Fosfatos de Bu-Craa, S.A. (FosBU-Craa). Esta nueva denominación data del año 1969, en el que se elevó el capital social mil millones de pesetas suscritas totalmente por el Instituto Nacional de Industria (INI).

1.3.2.1.3. -YACIMIENTO

El depósito de fosfato está situado en la zona Norte de Sahara Occidental, aproximadamente a unos 107 km al SE de El Aaiún, capital de la provincia y a unos 100 km de la costa atlántica.

El estudio sistemático del yacimiento se realizó mediante una malla cuadrada de un kilómetro de lado, en cada uno de cuyos vértices se perforó un sondeo, completándose el reconocimiento con la profundización de pozos en los mismos vértices de la malla, con objeto de mostrar directamente la capa de fosfato y determinar las leyes. En la valoración del yacimiento se utilizaron las técnicas más modernas de perforación y de testificación, así como un muestreo muy completo. Con todos los datos obtenidos se llevó a cabo un estudio geoestadístico de cuya síntesis se obtuvieron las reservas totales, las leyes medias del mineral y las capas medias del sustrato de fosfato y del recubrimiento.

Los trabajos dieron como resultado comprobar la existencia de 1.700 millones de toneladas de fosfato, si bien la revista Jeune Afrique estimó que las reservas ascienden a un total de 3.000 millones de toneladas.

Los estudios para determinar con detalle las características de la capa de fosfato y su recubrimiento se hicieron sobre una superficie de 231 km² del yacimiento, donde las leyes en P₂O₅ del mineral superan siempre el 31%, llegando, a veces, a más del 36%.

La potencia de la capa explotable en todo el yacimiento reconocido varía de 2,5 a 7 metros.



1.3.2.1.4. -FOSFATO DEL YACIMIENTO

El fosfato de Bu-Craa es un mineral de color entre amarillo y castaño claro con escasos fósiles (algunos restos de peces y coprolitos) y sin materia orgánica, consolidado apenas por un cemento arcilloso-margoso que permite su disgregación con facilidad y, en consecuencia, su tratamiento posterior.

El elemento portador de fósforo se presenta en grano fino (oolitos; especie de roca formada por concreciones calcáreas cuya estructura recuerda a los huevos de pescado) principalmente en forma de granos de fosfato redondos con diámetros que oscilan entre las 60 y 700 micras, siendo los mas frecuentes los comprendidos entre las 100 y las 400 micras. Estas distribuciones de tamaño constituyen la base del método de tratamiento del mineral.

Los ensayos de concentrabilidad del mineral realizados durante varios años, primero en laboratorio y luego a escala semi-industrial en una planta piloto instalada en BU-Craa, permitieron llegar a un método de concentración idóneo para el tipo de mineral.

Se tomo la decisión de producir fosfato de las calidades 75 y 80% FTC.

Los resultados efectuados confirmaron las previsiones teóricas, deducidas de las características físicas y químicas del fosfato del yacimiento de BU-Craa. El concentrado comercial de ambas calidades constituirá una materia prima valiosa para toda la gama de abonos fosfatados que se producen.

Otras propiedades de esta mineral, tales como la reactividad, la filtrabilidad, el consumo de acido, el prensado del producto, la ausencia de materia orgánica, etc., hacen que sea particularmente apropiado para la fabricación de acido fosforito, aun dentro de las normas mas exigentes.



1.3.2.1.5. -DESCRIPCIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

La explotación comienza en la mina, con el arranque de fosfato “a cielo abierto”, por el sistema de descubierta con vertido directo del estéril a la escombrera, mediante el empleo de una dragalina. El mineral descubierto se arranca una excavadora de rodete o de empuje, y se carga en camiones de gran tonelaje de descarga por el fondo, que lo llevan a la tolva de alimentación de la planta de trituración primaria, situada a bocamina, donde se elimina el estéril grueso (fracción superior a 10 mm) constituido por silex y caliza.

La fracción del mineral comprendida entre 0 y 10 mm pasa a un deposito regulador con capacidad para 300.000 toneladas, que se ampliara a 600.000 para la segunda fase de producción.

Desde dicho deposito regulador se alimenta el sistema de cintas transportadoras que, a lo largo de 100 km, llevan el mineral hasta otro deposito regulador situado en la costa. Este, análogo al anterior, tiene una capacidad de 300.000 toneladas.

El segundo depósito alimenta la planta de tratamiento, donde se concentra el mineral de fosfato. El proceso de tratamiento se hace por vía húmeda, utilizando agua de mar. El concentrado húmedo recibe un lavado final con agua dulce para quitar las sales solubles, se seca y se almacena en un depósito cubierto con una capacidad de 300.000 toneladas. La capacidad de almacenamiento del mineral concentrado se aumentara en las siguientes fases de producción hasta llegar a las 900.000 toneladas.

El fosfato concentrado se cargará en los buques a ritmo inicial de 4.000 t/hora, por tres puestos situados en el extremo de un pantalán de 3.200 metros de longitud. En dichos lugares de carga podran atracar barcos de hasta 100.000 toneladas.



Yacimientos de fosfatos de Bu-Craa



Fosfato petrificado

Estas instalaciones se complementan con una central eléctrica con potencia instalada de 56 MW, en la fase inicial, que dará energía a todas las instalaciones y una línea de transporte de energía a 132 KV hasta Bu-Craa. Dicha central eléctrica produce, además, 3.500 m³ de agua dulce al día para el lavado del mineral.



También, se han construido los talleres, los almacenes, las oficinas y las residencias necesarios, tanto en El Aaiún como en Bu-Craa.

Componente	75% FTC	80% FTC
P ₂ O ₅	34,31	36,6
CaO	50,42	51,9
SO ₃	0,58	0,44
Na ₂ O	0,26	0,24
SiO ₂	6,54	4,52
MgO	0,11	0,06
F	3,88	3,93
Cl	0,042	0,036
CO ₂	2,17	1,83
Fe ₂ O ₃	0,31	0,14
Al ₂ O ₃	0,59	0,35
K ₂ O	0,17	0,14
H ₂ O libre	0,56	0,44
H ₂ O contaminado	0,62	0,65
Materia orgánica	0,13	0,06

Resultados de análisis



1.3.2.1.6. -INSTALACIONES DE LA EXPLOTACIÓN

1.3.2.1.6.1. -EXPLOTACIÓN MINERA

El método de explotación se decidió tras un detenido estudio que culminó las experiencias realizadas con distintos tipos de maquinaria de movimiento de tierras en trece zanjas experimentales, dispuestas a lo largo de todo el yacimiento. Dichas zanjas permitieron, a la vez que verificar el comportamiento de la maquinaria de arranque, obtener mineral para los ensayos a escala semi-industrial llevados a cabo en una planta piloto de tratamiento.

El método elegido como resultado del estudio técnico-económico fue el tipo descubierta por franjas paralelas con vertido directo del recubrimiento estéril a la zanja abierta en la pasada anterior, una vez extraído el mineral.

El recubrimiento estéril se somete a una prevoladura para aflojamiento del terreno, que se realiza mediante una pega eléctrica de sondeos cargados con nitrato amónico y con fuel.

El estéril se arranca y se vierte a la escombrera mediante una dragalina que tiene una cuchara de 46 m³. Esta dragalina, que pesa unas 2.600 toneladas y lleva una pluma de 87 m, se acciona por corriente continua mediante dos grupos Ward-Leonard de 5.000 CV de potencia.

La dragalina se desplaza por medio de dos zancas accionadas cada una por un mecanismo de excéntrica. Progresará apoyándose alternativamente en su base circular y en las zancas.

Una vez abierta una franja en la que queda descubierto el mineral, se arranca este mediante una excavadora de rodete o de empuje que, además, lo carga sobre camiones semi-remolques de 100 toneladas de capacidad.



Dichos camiones, del tipo de descarga por el fondo, transportan el fosfato hasta la tolva de alimentación de la planta de trituración primaria situada a bocamina..

1.3.2.1.6.2. -CONCENTRACIÓN

Para tratar el mineral bruto son necesarias las tres etapas siguientes:

- Disgregación y liberación de los diversos componentes.
- Limpieza superficial del oolito.
- Separación selectiva de los tamaños inferiores a 10 mm

Estos pasos se realizan en dos plantas diferentes. La primera es la trituración primaria, situada a bocamina, y la segunda, la de tratamiento, ubicada en la costa.

En la planta de trituración primaria de Bu-Craa se clasifica el mineral, separando los tamaños superiores a 10 mm que constituyen el primer estéril con abundancia de silex y algo de caliza. La capacidad horaria de esta planta es de 1.000 toneladas.

La planta de tratamiento, que producirá inicialmente tres millones de toneladas de fosfato concentrado, consta de dos módulos iguales que se irán repitiendo en las ampliaciones futuras. El proceso de tratamiento se puede resumir, a grandes rasgos, de la manera siguiente:

- Trituración secundaria y puesta en pulpa para separar definitivamente los oolitos de la ganga.
- Clasificación en húmedo y deslamado para separar las partículas de tamaños superiores e cribas vibratorias y las de tamaños muy finos en hidrociclones, constituyendo ambas fracciones los estériles gruesos y finos, respectivamente.
- Separación del agua salada y lavado con agua dulce, operación que se realiza en centrifugas.
- Secado en horno de gases de corriente ascendente, obteniéndose el fosfato concentrado con una humedad máxima del 1%.



- Clasificación final, en seco, mediante cribas vibratorias para obtener la calidad deseada.
- Para el control de la calidad se dispone de un laboratorio dotado con modernas técnicas de rayos X.

1.3.2.1.6.3. -TRANSPORTE DEL MINERAL

El problema de transporte de 10 millones de toneladas anuales a través de casi 100 km de desierto ha merecido en todo momento la máxima atención de los servicios técnicos de FosBu-Craa. Se estudiaron de forma exhaustiva todos los sistemas que la tecnología actual ofrece, quedando seleccionados finalmente el ferrocarril y las cintas transportadoras como las mas interesantes desde los puntos de vista técnico y económico.

En principio, un transporte ferroviario clásico pareció adecuado. No obstante, este sistema debe ser considerado teniendo en cuenta las condiciones desérticas en que debe funcionar, ya que los ferrocarriles que se encuentran en dichas condiciones han puesto de manifiesto la aparición de grandes problemas de funcionamiento que se reflejan, además, en unos costes de explotación sensiblemente superiores.

Por lo tanto, FosBu-Craa decidió aprovechar los logros obtenidos por las técnicas mas modernas, conocidas y comprobadas en las cintas transportadoras. La posibilidad de disponer de bandas con armaduras de cables de acero cada mas resistentes, la mejora de calidad de los restantes elementos que integran un transportador y la reducción de los gastos de personal que permite el empleo de un telemando y control totalmente automático, junto a las ventajas que presenta el transporte por cinta resulte cada vez mas interesante.

Actualmente se esta asistiendo a una sustitución de los transportes discontinuos por sistemas de cintas transportadoras.



En este orden de ideas se monto una instalación experimental de cintas transportadoras en Bu-Craa, donde se hicieron todos los ensayos necesarios.

Una vez demostradas las ventajas técnicas y estudiadas las ventajas económicas del sistema de cintas, FosBu-Craa adoptó esta solución para resolver el problema del transporte del mineral entre el yacimiento y la costa.

Las características principales del sistema de cintas son las siguientes:

- Longitud total: 98.653,95 m.
- Desnivel: 212,60 m.
- Numero de tramos: 11.
- Tramo de longitud mínima: 6.769,60 m.
- Rendimiento mínimo garantizado: 2.000 Tm/h.
- Velocidad de transporte: 4,5 m/s
- Tipo de banda: “Steel-cord” St 3.150.
- Anchura de banda: 1.000 mm.
- Potencia total instalada: 20.348 KW,

Toda la instalación se acciona automáticamente desde el puesto de mando central situado en el extremo del sistema, en la zona de la playa. Un sistema de circuitos lógicos en el puesto central de mando y control permite que la secuencia de arranques y de paradas sea la más adecuada en cualquiera de las 2.048 posibilidades de estado de carga de los tramos.

En cada tramo hay un vehiculo de inspección provisto de sondas acústicas que permiten controlar el funcionamiento de los 113.000 rodillos y sustituirlos sin detener la instalación.

La longitud de los distintos tramos se ajusta a la topografía de terreno, de forma que la potencia de accionamiento necesaria para cada uno de ello sea similar. De esta forma se consigue que todas las unidades de accionamiento (motor, reductor, acoplamiento hidráulico y freno) sean idénticas entre sí.



El tramo que atraviesa la cadena de dunas está montado sobre un puente de 9 km de longitud y 6 m de altura; las dunas establecidas al norte han sido estabilizadas mediante riego a presión de productos petrolíferos de dosificación adecuada.

1.3.2.1.6.4. -DEPOSITO REGULADOR

El sistema de cintas se completa con un depósito regulador de 300.000 tm de capacidad en cada uno de sus extremos.

La concepción de cada depósito se basa en dos cintas paralelas sobre las que circulan una máquina apiladora y una máquina recogedora de mineral, respectivamente.

Cada depósito permite almacenar dos calidades de mineral separadamente en montones de 235 m de longitud y 16 m de altura. El rendimiento de apilado y recogida es regulable hasta 2.000 tm/h.

1.3.2.1.6.5. -CARGADERO DEL MINERAL

El fosfato concentrado que sale de la Planta de Tratamiento se almacena en un depósito cubierto con capacidad inicial de 300.000 tm que irá aumentando hasta 900.000, de acuerdo con las ampliaciones de la producción, de manera que el almacenamiento de concentrado sea aproximadamente igual al 10% de la capacidad de producción anual.

Desde el depósito de concentrado se alimentan las dos cintas transportadoras que, a un ritmo de 2.000 tm/h cada una, llevan el mineral al silo de las plataformas terminales del Cargadero de Mineral, desde donde se alimentan las máquinas cargadoras de cada puesto de carga.

El Cargadero de mineral constituye una obra de ingeniería modelo en su género, toda vez que, dadas las adversas condiciones del litoral sahariano para construir un puerto de abrigo con calado suficiente, hubo que recurrir a un pantalán de 3.127,5 m.



Todo el pantalán y sus plataformas se han construido en hormigón pretensado, lo que ha permitido realizar módulos de 45 m de luz y conseguir pilares de más de 40 m con una gran esbeltez.

Los primeros 1.575 m del pantalán, además de llevar las dos cintas transportadoras del mineral, dan acceso a la plataforma utilizada como muelle auxiliar y a la de bombas para la toma de agua, destinada a refrigeración de la central eléctrica y al tratamiento del mineral.

El muelle auxiliar permite el atraque de barcos de hasta 10.000 tm para descargar todo el material que va a cada una de las instalaciones necesarias para la puesta en explotación de la mina.

La dotación del muelle auxiliar consiste en dos grúas móviles de 6 tm y una grúa mástil de 150 tm de capacidad.

En la plataforma de bombas van instaladas las tres bombas de agua que, con un caudal de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, proveerán de agua a la central en la primera fase de producción. Posteriormente, su número se ampliará a seis unidades.

El montaje y el desmontaje de las bombas para las labores de mantenimiento se realizan mediante una grúa pórtico de 32 tm de capacidad que se desplaza a lo largo de la plataforma.

Los últimos 1.395 m del pantalán dan acceso a las plataformas terminales, donde existen tres puestos de carga para barcos de hasta 100.000, 60.000 y 20.000 t, respectivamente, dotados los dos primeros de dos máquinas cargadoras con capacidad de 2.000 tm/h cada una, y el tercero, de una sola máquina con 2.000 tm/h de capacidad de carga.



1.3.2.1.6.6. -CENTRAL ELÉCTRICA Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA

Para la alimentación de energía todo el complejo de instalaciones y el suministro de agua dulce para el lavado del mineral se proyectó una central térmica asociada a una planta desalinizadora de agua de mar y un sistema completo de distribución de energía.

La central térmica está situada en la zona de cargadero y constará en la fase inicial de:

- 3 grupos diesel-alternador de 12 mw.
- 1 grupo alternador de 20 mw.
- 1 planta desalinizadora de 3.500 m³/día.

Todo ello significa una potencia instalada total de 56 mw.

En las fases de ampliación previstas se llegara a una potencia total de 96 mw y una capacidad de producción de agua dulce de 10.500 m³/día, mediante la instalación de dos turboalternadores de 20 mw y dos plantas desalinizadoras iguales a las de la primera fase.

La distribución de energía esta constituida por:

- Una subestación en la central de 12,6 mva para la alimentación de los consumidores de la zona de cargadero.
- Una subestación a 132 kv inicial de la línea de transporte situada en un edificio próximo a la central de 60 mva de potencia.
- Una línea de transporte de 132 kv de las siguientes características: 2 circuitos, cada uno con una potencia de 30 mva, vacío medio entre apoyos de 375 m., altura de los apoyos de 36m.
- 10 subestaciones intermedias de 3 mva para alimentación de las cintas transportadoras.
- Una subestación de 20 mva en Bu-Craa final de la línea de transporte para alimentación de los centros de consumo de la mina.



1.3.2.1.6.7. -INSTALACIONES AUXILIARES

Junto con las instalaciones productivas anteriormente descritas, ha sido necesario realizar las instalaciones y los servicios siguientes:

- Un muelle auxiliar cuyas características se han descrito en el apartado correspondiente al Cargadero del Mineral.
- Unos talleres y almacenes centrales en la zona del cargadero y otros a pie de mina en Bu-Craa.
- Unos laboratorios principales en la planta de tratamiento y otro en Bu-Craa.
- Una planta piloto de tratamiento situada en Bu-Craa para el estudio del proceso de concentración, ensayo de maquinaria para el proceso y producción de muestras industriales de concentrado para enviar a los consumidores.
- Unas oficinas centrales en El Aaiún y otras a pie de obra en Bu-Craa y en la zona del cargadero.



1.3.2.1.6.8. -OBRAS SOCIALES

Dadas las características geográficas y climatológicas del Sahara, que se traducían en la carencia de una infraestructura adecuada para un gran proyecto industrial, fue necesario dedicar una atención especial a las obras sociales a fin de conseguir unas condiciones adecuadas para la vida de la población laboral de la empresa y de sus familiares.

De entre todas las instalaciones destacó el campamento de Bu-Craa, enclavado en pleno desierto, a más de 100 km de un núcleo de población. Dicho campamento, donde viven los trabajadores de la mina, se proyectó con las instalaciones de residencia, esparcimiento y convivencia necesaria para unas personas que han de residir cinco días a la semana separadas de sus familiares.

Además del campamento, se construyó en la mina un poblado para las familias de los trabajadores nativos.

En El Aaiún, la capital, se edificaron las viviendas, las residencias y los centros sanitarios adecuados para alojar y atender a los trabajadores de FosBu-Craa y a sus familiares.

Otro aspecto que se cuidó fue la formación profesional de la población saharauí. La condición nómada de la población y la carencia de un antecedente industrial en el Sahara suponían un grave inconveniente para la asimilación del saharauí en una explotación moderna, donde no abundan los puestos de trabajo adecuados a una mano de obra no sólo carente de especialización, sino también caracterizada por un elevado índice de analfabetismo.

Para resolver estos inconvenientes, FosBu-Craa realizó cursos de alfabetización, por donde pasaron varios centenares de alumnos saharauíes, y organizó curso de formación profesional de donde salieron 206 especialistas saharauíes.



La producción anual de 8,4 millones de toneladas podría mantenerse durante siglos. El techo de producción con las instalaciones descritas es de 10 millones de toneladas anuales. Debido a la voluntaria ausencia exportadora de EE.UU. y edificaron la escasa participación de Rusia, si los fosfatos pasaran a depender del pueblo saharauí, podrían rivalizar en el mercado mundial con Marruecos, con 17 millones de toneladas.



1.3.2.2. –BAYÓVAR

La mina de fosfatos de Bayóvar se encuentra en Perú en el desierto de Sechura, en la Provincia de Sechura. Departamento de Piura, a unos 1.000 Km. Al norte de Lima.

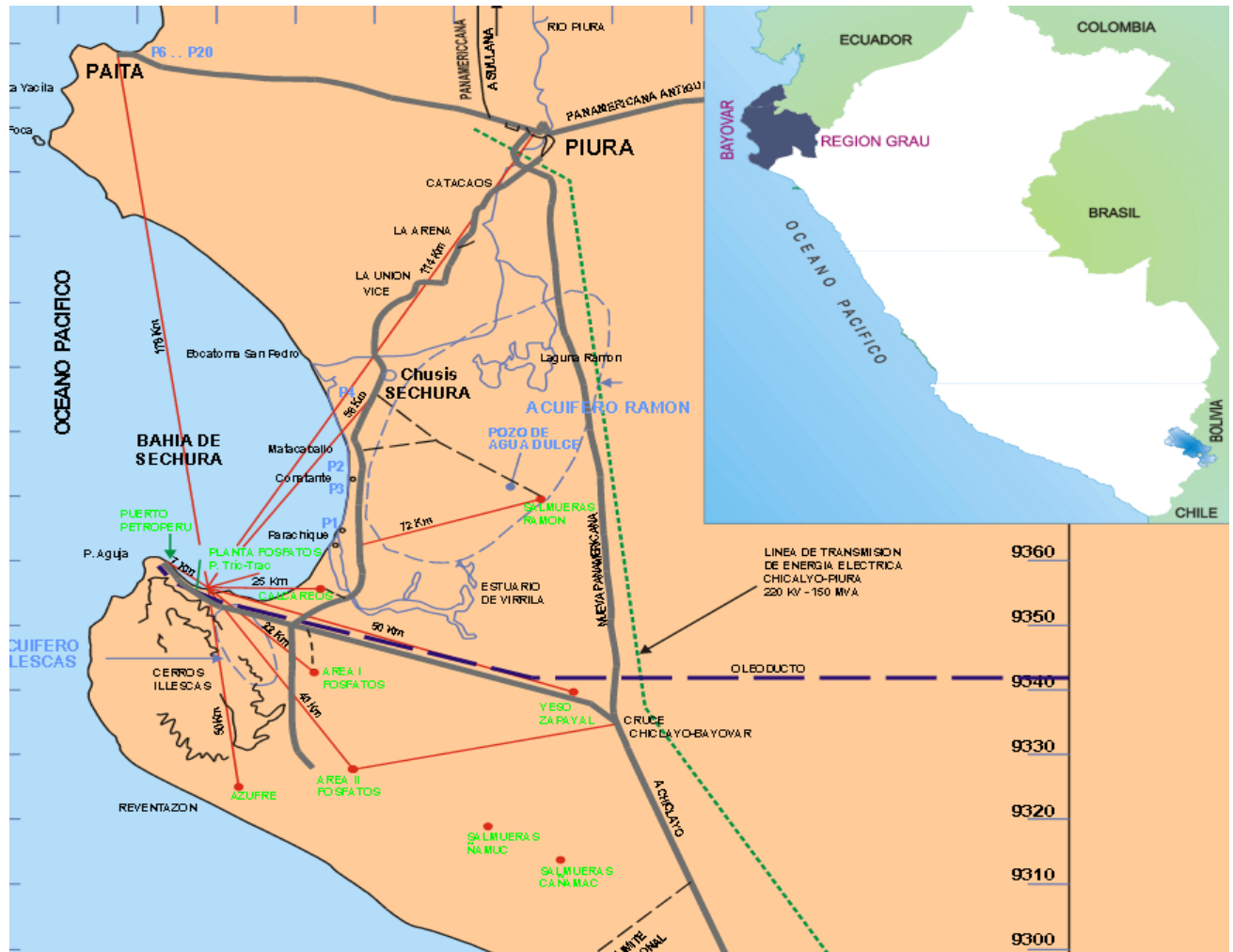
El yacimiento de fosfatos de Bayóvar fue descubierto en 1956, a lo cual siguió una serie de estudios y exploraciones por parte de empresas privadas, pero el proyecto de explotación se postergó por falta de una decisión política y de inversionistas.

Los fosfatos de Bayóvar son de origen sedimentario marino, es decir, depósitos secundarios originados por sedimentos de origen animal y vegetal, peces y algas hace millones de años.

También destacó que el de Bayóvar es el fosfato natural más reactivo y de alto contenido de micronutrientes (calcio, azufre y magnesio), con un alto poder residual, óptimo para suelos ácidos.

El objetivo principal de la mina de fosfatos de Bayóvar es la extracción y concentración del yacimiento de fosfatos más grande de Sudamérica.

El proyecto contempla la construcción de la infraestructura necesaria para sus nueve componentes: Mina, Plante concentradora, Carretera industrial, Zona de descarga de camiones, Cinta transportadora sobre terreno, Zona de secado y almacenamiento, Puerto, Línea de impulsión agua de mar, Líneas de transmisión.



Ubicación e infraestructura de Bayóvar



Mapa general de la infraestructura



capa	Baja Ley < 29% P₂O₅ Conc											
	Alimentación									Concentrado		
	kt	P ₂ O ₅	Cd	CaO	Al ₂ O ₃	MnO	Hum.	Recup		kt	P ₂ O ₅	Cd
1	338	2.3	13.9	3.7	0.8	0.0	26.5	5.2		17	27.2	16.6
2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0	0.0	0.0
3	11,248	15.2	50.2	26.6	3.0	0.0	30.0	40.9		4,606	28.8	48.1
4	9	9.5	64.4	20.4	2.9	0.0	29.7	26.9		2	29.0	53.7
5	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0	0.0	0.0
Total Mineral	11,595	14.8	49.2	25.9	2.91	0.01	29.9	39.9		4,626	28.8	48.0

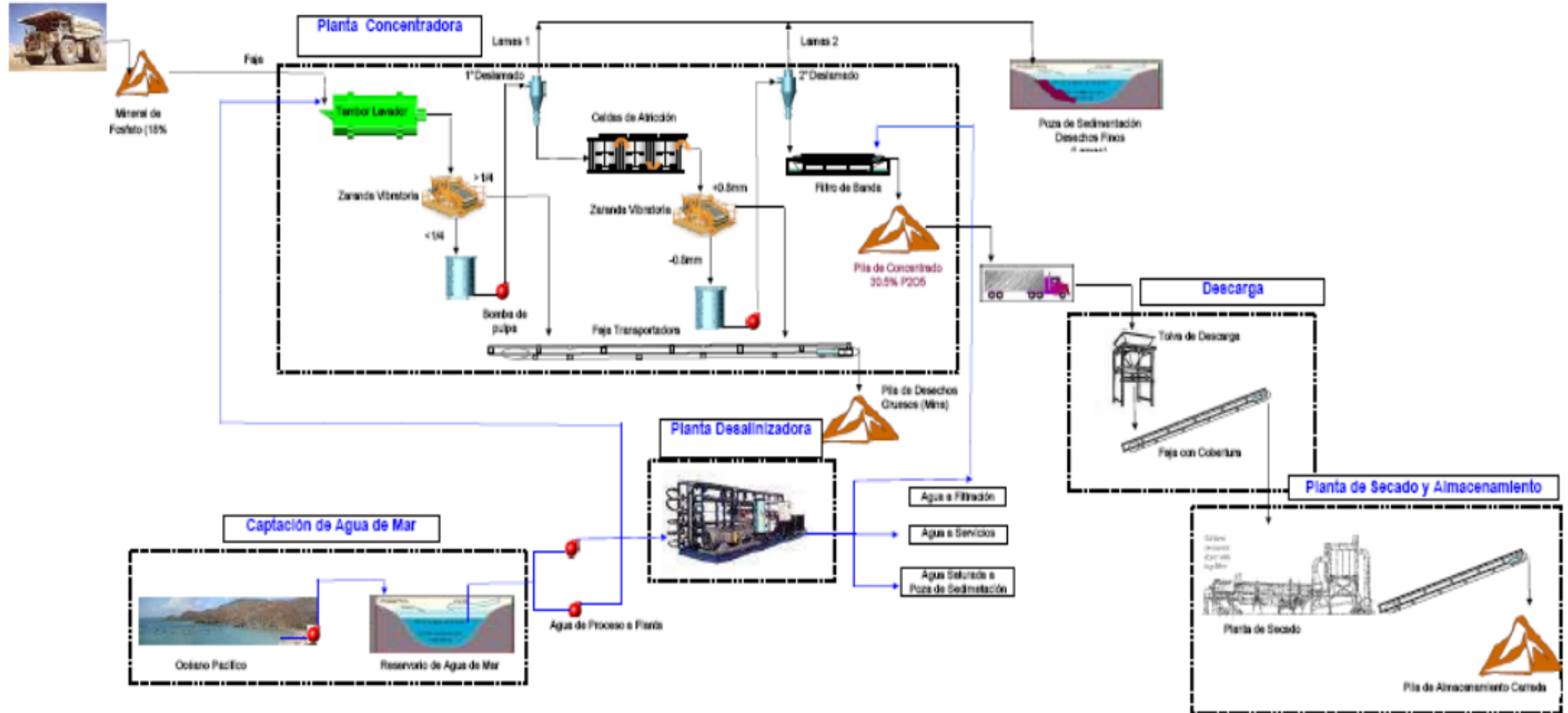
capa	Mineral >= 29% P₂O₅ conc											
	Alimentación									Concentrado		
	kt	P ₂ O ₅	Cd	CaO	Al ₂ O ₃	MnO	Hum.	Recup		kt	P ₂ O ₅	Cd
1	81,754	18.6	40.8	31.1	4.3	0.02	25.5	47.4		38,792	30.6	41.3
2	49,744	14.4	44.2	24.7	4.1	0.02	33.3	30.4		15,116	30.3	49.5
3	29,543	18.4	54.9	31.1	2.6	0.01	33.5	48.6		14,366	29.7	52.3
4	17,621	14.0	42.4	26.9	2.6	0.0	33.8	34.6		6,105	29.9	39.7
5	47,928	18.8	55.8	33.7	2.0	0.0	28.9	44.3		21,236	30.9	49.6
Total Mineral	226,592	17.4	46.7	29.9	3.40	0.02	29.6	42.2		95,616	30.4	46.00

capa	Total Modelo											
	Alimentación									Concentrado		
	kt	P ₂ O ₅	Cd	CaO	Al ₂ O ₃	MnO	Hum.	Recup		kt	P ₂ O ₅	Cd
1	82,092	18.6	40.7	31.0	4.3	0.02	25.5	47.3		38,810	30.6	41.3
2	49,744	14.4	44.2	24.7	4.1	0.02	33.3	30.4		15,116	30.3	49.5
3	40,792	17.5	53.6	29.9	2.7	0.01	32.6	46.5		18,972	29.5	51.3
4	17,630	14.0	42.4	26.9	2.6	0.01	33.8	34.6		6,108	29.9	39.7
5	47,928	18.8	55.8	33.7	2.0	0.01	28.9	44.3		21,236	30.9	49.6
Total Mineral	238,187	17.2	46.8	29.7	3.38	0.02	29.6	42.09		100,242	30.4	46.1
Lastre	1,477,789											
Total	1,715,976											
RLM	6.20											

Reservas minables



DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL



Procesamiento roca fosfórica



El consorcio minero Vale, de Brasil, inició la ampliación de las instalaciones de la mina de fosfato Bayóvar en el desierto peruano de Sechura, con reservas potenciales estimadas en 10 mil millones de toneladas.

El proyecto de Vale, que suma una inversión de 556 millones de dólares, prevé elevar la producción de Bayóvar de 3.9 millones de toneladas a 5.9 millones de toneladas de roca fosfórica por año.

La explotación del fosfato peruano por Vale tendrá como destino principal los mercados de Brasil, América del Norte y Asia, pero antes deberá cubrir la demanda interna del Perú.



1.4. -APLICACIONES Y USOS



Los Fosfatos son utilizados para una gran variedad de aplicaciones de muy diversos campos. A continuación se enumeran algunas de ellas, las cuales, las más importantes, se explicaran mas adelante:

- Se emplea en la preparación de levaduras y cereales instantáneos.
- Fabricación de queso y curar jamones.
- Para hacer amargos los refrescos.
- Se emplea para tratar metales haciéndolos más resistentes a la corrosión.
- Se utiliza como fertilizante.
- Se emplea para aclarar disoluciones azucaradas.
- En pruebas de tejidos de seda.
- El fósforo blanco se utiliza para hacer raticidas.
- El fósforo rojo se utiliza para hacer cerillos o fósforos.



1.4.1. –NIQUELADO QUIMICO

1.4.1.1. –INFORMACION GENERAL

El niquelado químico es una técnica química de auto-catalítica utilizada para depositar una capa de aleación níquel-fósforo o níquel-boro en una pieza de metal o plástico. El proceso es una reducción en fase acuosa y caliente, en la presencia de un agente reductor, por ejemplo: hipofosfito sódico hidratado ($\text{NaPO}_2\text{H}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), que reacciona con los iones metálicos para depositar el metal. La reacción es catalizada al inicio por el metal de la pieza y luego por el níquel depositado. Son posibles aleaciones con diferentes porcentajes de fósforo, desde 2-5 (bajo en fósforo) a un máximo de 11-14 (alto de fósforo). Las propiedades metalúrgicas de las aleaciones dependerán del porcentaje de fósforo.

El niquelado químico se caracteriza por un espesor de capa uniforme, incluso en piezas complicadas y en las superficies interiores. Además, las superficies se caracterizan por una dureza muy alta, un resistencia de salida buena, y protección contra la corrosión excelente. Los revestimientos químicos de níquel son soldables y (aunque el níquel es uno de los metales ferromagnéticos) no es ferromagnético.

El recubrimiento de níquel brillante es una aleación de níquel-fósforo, el cual está aplicando poroso. Las propiedades de la capa de un recubrimiento de níquel químico dependen de la pureza del material de base, el tratamiento previo y el espesor de la capa. La mayoría de los métodos se utilizan el contenido de fósforo esta entre el 8,5 al 12%.



1.4.1.2. -TIPOS

Aunque el níquel puede aparecer aleado con boro lo normal es el fósforo, y atendiendo a la concentración de este se distinguen tres grandes grupos:

1.4.1.2.1. –NIQUEL QUIMICO CON CONCENTRACION BAJA DE FOSFORO

Bajo tratamiento fósforo se aplica para los depósitos con dureza hasta 60 Rockwell C. Este tipo ofrece un espesor muy uniforme dentro de configuraciones complejas, así como fuera, que a menudo elimina molienda después de placas. También es excelente para la resistencia a la corrosión en ambientes alcalinos.

1.4.1.2.2.-NIQUEL QUIMICO CON CONCENTRACION MEDIA DE FOSFORO

Tratamiento con fósforo medio tiene una tasa de velocidad de depósito de alto y ofrece opciones de brillantes y semi-brillante para la particularización cosmética. El tratamiento es muy estable, de uso frecuente para las industrias relativas a la eliminación de purín. Este es el tipo más común de níquelado químico.

1.4.1.2.3. –NIQUEL QUIMICO CON CONCENTRACION ALTA DE FOSFORO

De níquel electrolítico de alta fósforo ofrece resistencia a la corrosión, por lo que es ideal para los estándares de la industria que requieren protección contra ambientes ácidos altamente corrosivos, tales como la perforación de petróleo y la minería del carbón. Con microdureza que van hasta 600 VPN, este tipo asegura superficie muy poca porosidad donde se requiere pozo sin recubrimiento y no es propenso a las manchas. Los depósitos no son magnéticos cuando el contenido de fósforo es mayor que el 11,2%. Por contra son difíciles de soldar.



1.4.1.3. -VENTAJAS E INCONVENIENTES

Las ventajas incluyen:

- No se utiliza energía eléctrica.
- Incluso recubrimiento en la superficie de las piezas se puede lograr.
- No hay plantillas sofisticadas o estantes son obligatorios.
- Hay flexibilidad en volumen de chapado y espesor.
- El proceso puede huecos y orificios ciegos con un grosor estable.
- Reposición química se puede controlar automáticamente.
- No se requiere un complejo método de filtrado.
- se puede obtener acabados mates, semibrillantes o brillantes.

Las desventajas incluyen:

- Vida útil de los productos químicos es limitado.
- El coste del tratamiento de residuos es alto debido a la rápida renovación química.

Cada tipo de níquel no electrolítico también tiene ventajas particulares dependiendo de la aplicación y el tipo de aleación de níquel.



1.4.1.4. -PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

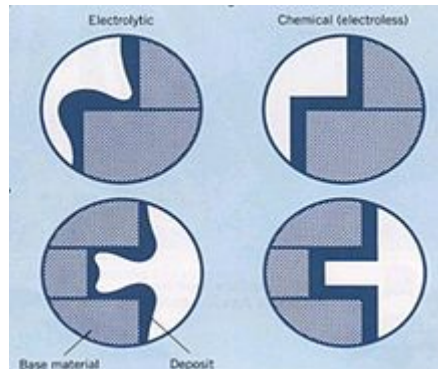
1.4.1.4.1. -MICROESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LAS PELÍCULAS DE LA NQP

Una de las ventajas del proceso de deposición no electrolítica de níquel es la capacidad para producir una aleación de níquel y fósforo en una composición variable. Dependiendo de la formulación y el funcionamiento la composición de película puede variar desde 2 hasta 13 por ciento en peso de fósforo. Esta variación en el contenido de la aleación tiene un efecto significativo sobre la microestructura de depósito y las características del rendimiento y ofrece flexibilidad para chapistas e ingenieros bien informados que pueden sacar el máximo provecho de estas diferencias.

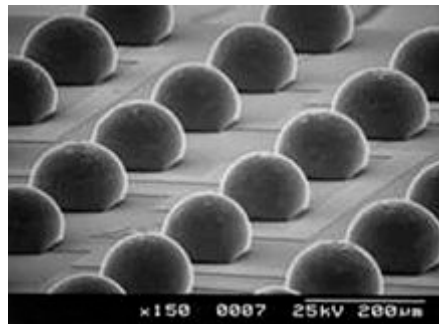
El níquel electrodepositado tiene una pureza de más del 99% y esta altamente cristalino. Por otro contra, las deposiciones químicas de níquel que contienen más de 10,5% de fósforo parecen ser amorfas, es decir, carente de estructura cristalina. Los depósitos ES con menos de 7 por ciento en peso de fósforo tienen una clara estructura microcristalina (2-6 nm tamaño de grano) y las propiedades de la película son muy diferentes. Algunos estudios han encontrado que el aumento de los depósitos de fósforo (fósforo por encima del 10,5 por ciento en peso), no puede ser verdaderamente amorfa, sino más bien una mezcla de microcristalina y fases amorfas.

Dejando de lado algunos de las características conocidas acerca de fósforo de depósito, es decir, la dureza o la resistencia a la corrosión que veremos un poco más tarde, los depósitos con un alto grado de composición amorfa están libres de los límites de grano, que por lo general actúan como sitios para la corrosión intergranular comúnmente encontradas en depósitos cristalinos. También hay aplicaciones que se benefician de la estructura cristalina. Duncan señaló que en la condición de un depósito de níquel no electrolítico el revestimiento puede contener tanto las fases cristalinas y amorfas o sólo puede contener una. Cada fase ofrece distintos beneficios y la comprensión de lo que existe en el depósito es relevante para su utilización.

1.4.1.4.2. -UNIFORMIDAD



Diferencias en la uniformidad de un niquelado eléctrico a otro químico



Golpes ES enchapadas en un flip chip

Una ventaja significativa del proceso de níquel no electrolítico es la capacidad de producir depósitos con un espesor uniforme en las piezas con geometrías y formas complejas. Como se trata de una reacción química, cualquier catalizador superficie expuesta a la solución de metalización se placa de manera uniforme, que se adecue los criterios establecidos unos pocos párrafos antes. La densidad de corriente afecta típicamente asociados con galvanoplastia no son un factor, por lo tanto, los bordes afilados, rebajes profundos y agujeros ciegos son fácilmente chapada de espesor uniforme con la química de níquel no electrolítico. Muchas aplicaciones de níquel electrolítico existen hoy en día porque a menudo es la única forma de ciertos componentes de la placa. La diferencia en la uniformidad de depósito se ilustra en la foto 48. La foto 49 es una foto de golpes ES enchapadas en un flip chip, algo imposible de lograr con un depósito galvanizado.



El grado de uniformidad puede variar en los bordes, hilos, pequeños agujeros o huecos profundos donde el intercambio de una nueva solución puede ser difícil. Esto también puede ocurrir bajo condiciones con agitación baño excesivo, especialmente en la presencia de metales pesados.¹³ Esta variación espesor puede ser controlado mediante la optimización de la dinámica de la solución o controlando la concentración de determinados aditivos formulados en el baño de chapado ES.

1.4.1.4.3. -PUNTO DE FUSIÓN



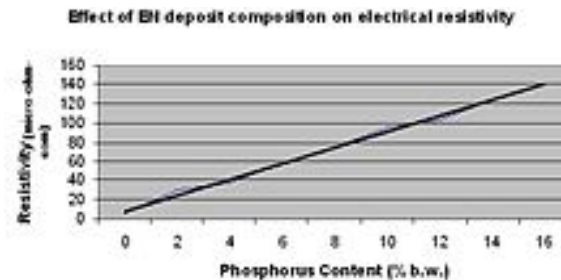
Fallo del recubrimiento por elevada temperatura

A diferencia de níquel electrodepositado, depósitos químicos de níquel no tiene un punto de fusión precisos sino que tienen un intervalo de fusión. El níquel puro tiene un punto de fusión de 1455 °C (2650 ° F), sin embargo ES es una aleación y como el contenido de fósforo se incrementa dentro de la película, el depósito comienza a ablandarse a temperaturas más bajas y continúa para ablandar hasta que eventualmente se derrite. El intervalo de fusión disminuye linealmente a medida que aumentan los niveles de fósforo. El punto de fusión eutéctico o menor para las aleaciones de NIP es 880 ° C (1620 ° F) y se produce con un contenido de fósforo depósito del 11% en peso. El punto de fusión más alto es para los depósitos de fósforo bajo (menos de 3%) que tienen puntos de fusión a 1.200 ° C (2.200 ° F). Algunas aplicaciones de alta temperatura han fallado ya que no se reconoció plenamente que incluso con un alto un



rango de la película todavía tendrá una fase líquida a temperaturas mucho más bajas. La Figura 3 ilustra lo que sucede se somete a temperaturas superiores a su punto de fusión.

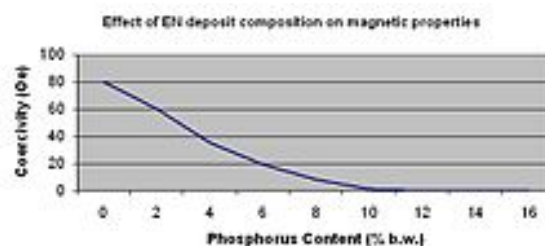
1.4.1.4.4. -RESISTIVIDAD ELÉCTRICA



Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica de las aleaciones de níquel químico es mayor que la de níquel puro. El níquel de alta pureza tiene una resistividad específica de $7,8 \times 10^{-6}$ ohm-cm. Aumentando el contenido de fósforo aumenta la resistividad eléctrica de la película. (Figura 4). Los valores van desde $30-100 \times 10^{-6}$ ohm-cm. El tratamiento térmico de la película PEV puede afectar la resistividad. A temperaturas tan bajas como 150°C la resistividad se reducirá debido a la liberación de hidrógeno absorbido físicamente. A temperaturas superiores a 250°C , una disminución similar marcado se producirá como resultado de la migración de fósforo y la transformación estructural de fosfuro de níquel.

1.4.1.4.5. -PROPIEDADES MAGNÉTICAS



Efecto del fósforo sobre el ferromagnetismo.



Una aplicación importante del níquel químico es como una subcapa para los discos duros para computadoras. Para cumplir con los requisitos, el recubrimiento debe permanecer no magnético, incluso después de una hora de duración los ciclos de horneado de 250-300 ° C. En los últimos años, la industria de almacenamiento de datos ha elevado a la parte alta de este rango de temperaturas. Esto sólo se puede lograr con aleaciones alto contenido en fósforo ($P > 10,5\%$) o con aditivos específicos. La propiedad no magnético de estas películas de fósforo es una de las características físicas más importantes.

No todas las aleaciones con alto contenido de fósforo mantienen el mismo nivel de estabilidad termomagnético. El rendimiento de la película también depende de la formulación química y la dinámica de la solución durante el proceso de recubrimiento. La reducción de la aparición y la velocidad de cristalización, lo que minimiza la fracción de volumen de microcristales y mantiene una estructura de grano homogénea a temperaturas más altas en el horno son requisitos clave para la optimización del rendimiento películas termomagnético.

1.4.1.4.6. -RESISTENCIA A LA CORROSIÓN

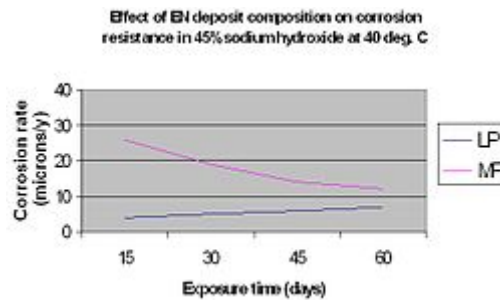
La aplicación más generalizada de la tecnología de níquel no electrolítico es proporcionar mayor protección contra la corrosión en una multitud de entornos corrosivos. Los datos del mercado indica claramente que el mayor uso del niquelado químico es sobre sustratos de acero y aluminio que son ánodos o menos noble que el níquel. El niquelado químico actúa como un revestimiento de barrera que protege al proporcionar un revestimiento barrera libre de poros contra el ambiente corrosivo. Esto diferente de las películas consumibles formadas con zinc o aleación de zinc que proteger al material de base por sacrificar ellas.

La naturaleza del ambiente corrosivo y la resistencia al ataque químico son criterios importantes cuando se selecciona un determinado recubrimiento para un rendimiento óptimo. Los recubrimientos de alto contenido en fósforo (10.12%) son más fácilmente atacado en medios altamente alcalinos que de baja concentración de fósforo (1-3%). Sin

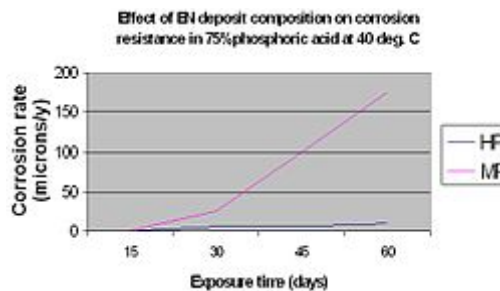


embargo, los primeros resisten mucho mejor en un medio ácido. Esto se ilustra en los siguientes gráficos.

1.4.1.4.7. -RESISTENCIA AL PH



Medio básico



Medio ácido

Para optimizar el rendimiento de los recubrimientos ES de protección contra la corrosión se requiere que el recubrimiento sea continuo y libre de cualquier microporosidad, rugosidad, nódulos e irregularidades dentro de la microestructura. Dado que la microestructura de fósforo alto ES películas son amorfas son esencialmente libres de los límites de los granos que potencialmente podrían servir como sitios para la corrosión. La ausencia de límites de fase tales y la capacidad del fósforo alto ES película para formar una película pasiva en su superficie, lo convierten en una elección excelente para la protección de aluminio y acero sustratos altamente corrosivos, en ambientes ácidos.

Sin embargo el contenido de fósforo solo no es suficiente para maximizar la resistencia a la corrosión del recubrimiento en un ambiente dado.



Los factores que afectan el comportamiento de la corrosión de las películas de ES son las siguientes:

- 1. Adecuada selección del proceso de ES y el espesor de depósito.
- 2. Operación y mantenimiento del proceso, minimizando depositados impurezas
- 3. Minimizar defectos del sustrato mediante la formación OEM mejora en la selección de sustrato (reparto vs extrusionado) y varias placas de pre-operaciones mecánicas (que forma, estampado, pulido, etc)
- 4. Selección del ciclo de pretratamiento óptimo
- 5. Operaciones Post placa (tanto buenas como malas). Bad-alta después del tratamiento de temperatura que pueden producir micro-depósitos-Bad agrietada. Buen post-salsas, hornea a baja temperatura, etc

El estado de la superficie juega un papel importante en la determinación del espesor del depósito requerido y rendimiento en el campo bueno. Por ejemplo, mecanizar sustratos aleados con azufre o plomo son particularmente vulnerables a un alto grado de porosidad, ya que estos componentes de aleación son venenos catalíticos en el proceso de deposición. Los sustratos con altos valores de rugosidad más gruesos requieren depósitos para proporcionar una protección adecuada a la corrosión. Esto se debe principalmente a la formación de nódulos durante las etapas iniciales de deposición, lo que deviene en una microporosidad de la película PEV.

El aumento del espesor de la película puede minimizar este efecto. Los sustratos lisos requieren un espesor de 25 micras para obtener una película con un mínimo de porosidad mientras que las superficies ásperas puede requerir hasta tres veces ese espesor para proporcionar protección contra una corrosión similar.

El uso de pulverización de sal neutra, de acuerdo con la especificación ASTM B 117, para la medición de resistencia a la corrosión está bien documentado en la literatura y sigue siendo el método más ampliamente aceptado para la evaluación de un revestimiento.

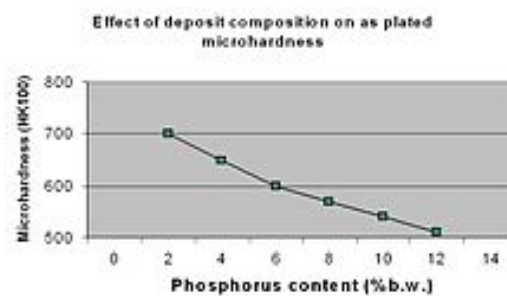


Los resultados de la exposición de niebla salina neutra, contenido de fósforo y el espesor de depósito se resumen en la siguiente tabla:

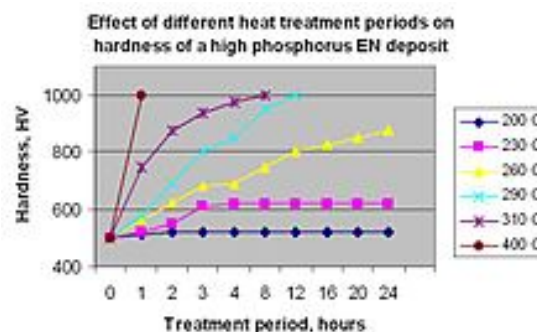
Grosor del recubrimiento	4-5% ENP	7-8% ENP	6.5-8% ENP	10.5-12.0% ENP
12 microns (0.4 mils)	24	24	24	250
22 microns (0.8 mils)	96	96	96	1,000
38 microns (1.4 mils)	96	96	96	1,000
50 microns (2.0 mils)	96	96	96	1,000

Resistencia a la corrosión mediante el test ASTM B-117 Spray de sal neutra

1.4.1.4.8. -DUREZA DE LA PELÍCULA



Microdureza



Tratamiento térmico



La dureza de la película es una de las propiedades tribológicas clave de la tecnología de recubrimiento NQ. Los factores que afectan la dureza de película son: la composición (% P), la temperatura de tratamiento térmico y la curación de tratamiento térmico. Los valores típicos de microdureza están en la gama de 500 a 720 VHN (Figura 8). Esto contrasta con el níquel depositado electrolíticamente, que tienen valores típicos de 150 a 400VHN.

El tratamiento térmico de la película aumenta significativamente la microdureza. La foto anterior ilustra el rango de temperatura efectiva y el tiempo requerido para alcanzar valores específicos.

En los casos en que el sustrato no puede soportar los requisitos de temperatura para alcanzar la máxima dureza, a menudo, se recomienda el empleo de baja concentración de fósforo. El aumento de la microdureza de películas se atribuye a las transformaciones de fases que tienen lugar durante el ciclo de calentamiento para formar níquel metálico y fosfuro de níquel. Se producirá alguna contracción de volumen y agrietamiento de la película y se debe tener en cuenta si la aplicación requiere protección contra la corrosión.

1.4.1.4.9. -RESISTENCIA AL DESGASTE

El revestimiento químico de níquel y fósforo emplea en una amplia variedad de aplicaciones de ingeniería relacionadas con la resistencia al desgaste. Esto se debe principalmente al hecho de que los recubrimientos no sólo tienen alta dureza y lubricidad intrínseca, sino también proporcionar resistencia excelente a la corrosión y a la uniformidad de la película. Las propiedades de desgaste de las películas se puede mejorar mediante la codeposición de partículas inertes, tales como PTFE, carburo de silicio o nitruro de boro formando un revestimiento compuesto.

El desgaste por abrasión de las películas de la PEV se mide típicamente mediante la aplicación de una acción mecánica de un disco abrasivo, girando sobre la superficie chapada y midiendo la pérdida de peso (en miligramos) del recubrimiento a intervalos



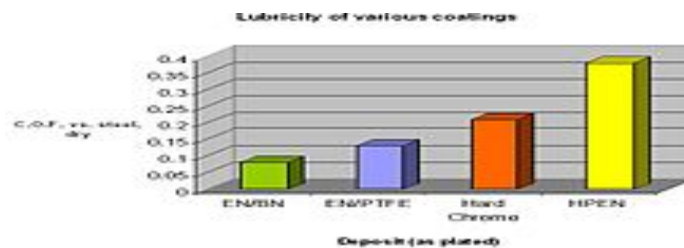
de 1000 ciclos. Esta prueba se conoce como el índice de desgaste Taber (IST). Y tal vez es el método utilizado más frecuentemente para evaluar las características de desgaste de las películas de la PEV.

El "porque" los revestimientos de baja concentración de fósforo tienden a resistir el desgaste por abrasión mejor que de alta, se atribuye en gran medida a superiores valores de dureza. Sin embargo después del tratamiento térmico de las tendencias siguen siendo las mismos, aunque la dureza del depósito es similar, lo que sugiere que otros factores, tales como la composición de depósito, jugar un papel en la resistencia al desgaste abrasivo.

El desgaste adhesivo se define como la eliminación de material entre las superficies de contacto y mide la capacidad de resistir a las películas de soldadura por frotamiento, o agarrotamiento. Si las superficies de contacto son de níquel no electrolítico, un rendimiento óptimo se logra cuando las superficies en contacto tienen propiedades diferentes, tales como contenido de fósforo o dureza. La resistencia al desgaste adhesivo de la Política Europea de Vecindad películas mejora con el contenido de fósforo en aumento.

Es importante tener en cuenta tantas variables como sea posible en la evaluación de una política europea de vecindad para la capa de aplicaciones tribológicas. Factores tales como la dureza, contenido de fósforo, la presencia de líquidos o gases corrosivos, la temperatura, la naturaleza de la superficie de contacto, el grado de lubricación y las características del sustrato son críticas para el rendimiento óptimo.

1.4.1.4.10. -LUBRICIDAD



Coeficientes de fricción.



Como se señaló anteriormente, la lubricidad juega un papel importante en la optimización de la resistencia al desgaste. Lo hace por contacto entre la inhibición de las superficies de contacto, reduciendo la fricción y el calor asociado. Hard Chrome es bien conocido como poseedor de una película de la curación y auto lubricados. Considerando que la ES no presenta esta característica todavía ofrece una excelente lubricidad y encuentra muchas aplicaciones que pueden sacar provecho de esta propiedad. La imagen anterior muestra gráficamente el coeficiente de fricción vs no lubricado de acero. Cromo duro se desempeñan mejor que el estándar alto de fósforo ES (HP ES), pero con la oclusión de diversas partículas blandas que pueden alcanzar valores mucho más bajos.

La mayoría de los entornos de desgaste tienen múltiples puntos de contacto y es muy común que todas las superficies de contacto están chapadas. La siguiente tabla muestra el mejor desempeño de níquel electrolítico cuando ambas superficies de contacto están chapados en que los resultados son comparables a las de cromo duro.

Superficies de contacto	Coeficiente de fricción	
	Sin lubricante	Lubricada
Electrolisis niquel vs acero	0.38	0.20
cromo vs acero	0.21	0.13
acero vs acero	galling	0.2
cromo vs cromo	0.43	0.26
EN vs EN	0.45	0.20
Electrolisis niquel vs Cromo	0.43	0.30
EN PTFE vs acero	0.12	
EN Boro nitrado vs acero	0.07	

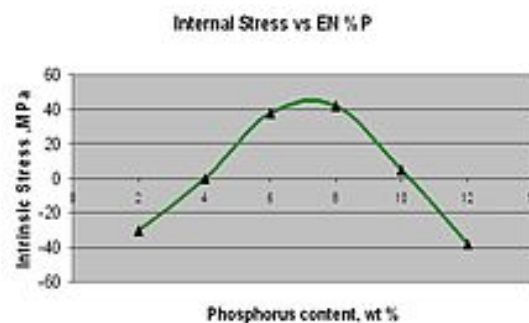
Coeficientes de fricción de varias superficies de contacto



1.4.1.4.11. -DUCTILIDAD

Aunque el níquel químico es ampliamente considerado como un revestimiento de ingeniería no se compara bien con otros recubrimientos en términos de ciertas propiedades mecánicas. La ductilidad es una de ellas. El níquel químico se considera un material muy fuerte pero frágil. La ductilidad relativamente baja se debe a las diversas estructuras microcristalinas y amorfa que limitan la deformación plástica, es decir, la capacidad de "estirar" sin fractura. No es infrecuente que los depósitos pesados de generación (mayores de 25 micras) se agrietan cuando se exponen a cargas severas. Esto es especialmente evidente en las películas de fósforo de baja concentración o aquellos chapado de mayores baños (en exceso de 150 g / l de ortofosfato) con tensión de tracción alta.

1.4.1.4.12. -TENSIÓN INTERNA



Graficas de tensión interna



La tensión interna es sin duda una de las propiedades mecánicas más importantes de níquel electrolítico y, a menudo los más ignorados. La tensión interna juega un papel en la adhesión, la resistencia al desgaste y a la corrosión y por lo tanto deben ser regulados o, como mínimo, saber que existe. Las tensiones internas se pueden desarrollar tanto extrínseca y la intrínseca.

La tensión extrínseca es la menos insidiosa y es provocada por diferencias en el coeficiente de expansión térmica entre la película y el sustrato. Cuando las superficies chapadas se enfrían primero hay un encogimiento inherente al componente. Níquel electrolítico típicamente reduce aproximadamente 0,1% en refrigeración a partir de la temperatura del baño operativo. Cuando cultivaron sobre sustratos que tienen un mayor coeficiente de dilatación de ES (latón y aluminio, por ejemplo) el depósito ES se desarrollan esfuerzos de tracción. En los sustratos que tienen un menor coeficiente de dilatación que EN depósito de estar en un estado de compresión. Esto, por supuesto, no asume la pérdida de adhesión o agrietamiento grave como el componente pretende adaptarse a la contracción.

La tensión intrínseca es causada por el proceso de galvanizado en sí. Aunque el sustrato también juega un pequeño papel, la tensión intrínseca es controlada por la formación de las capas de níquel debido principalmente a la formulación ES y condiciones de operación del baño. Una observación general para orientar su proceso de pensamiento sería que el aumento de fósforo ES procesos efectuados de acuerdo con las buenas prácticas se producen depósitos con el estrés neutral o de compresión. En la mayoría de las aplicaciones, el esfuerzo de compresión se desea, ya que tiene un efecto insignificante sobre la pérdida de la fatiga, mejora la adhesión y algunas han encontrado una mejor protección a la corrosión. El gráfico de la figura 12 refleja la tensión de depósito frente a contenido de fósforo. Nótese que la reducción de fósforo (menos de 4% en peso) en la película también exhibe menor esfuerzo de tracción. Esto puede atribuirse a la presencia de fases homogéneas estructurales que Duncan observo.

Suponiendo que se ha seleccionado la correcta formulación de ES para ofrecer el nivel de estrés deseado, una reducción de la tensión de compresión o incluso un cambio a la tracción es posible bajo ciertas condiciones y deben ser evitadas. El funcionamiento de



un baño en fuera de sus directrices recomiendan afectará el estrés. Como Plater desea impulsar un proceso más rápido a la placa, aumentando el pH es a menudo la primera opción. Cuando se incrementa el pH el depósito de fósforo aumenta, el esfuerzo de compresión se reduce y esto puede conducir a resultados negativos. Los chapistas se suelen sorprender al encontrar un proceso de chapado sin fisuras por tensión ni falta de adhesión, el día anterior, ahora está produciendo fallos. Una visión de los registros o un análisis rápido revela el culpable. El responsable más común para el aumento del carácter a tracción ES depósitos es la edad baño. Esta bien documentado que un proceso de ES diseñado para producir un depósito a la compresión deja de hacerlo después que el baño tenga de cierta edad (alrededor de unas 5 rotaciones de metal). Es en este punto donde la presencia de reacción de productos, ortofosfato de sodio, comienza a contribuir a la tracción. Se puede seguir empleando este baño, pero debe ser consciente de que la tensión aumentará y pueden aparecer fallos de adhesión o roturas. Esto es más evidente, de nuevo, con películas más gruesas. Hay ciertos aditivos que, cuando se usa con cuidado, pueden reducir la tensión de tracción, incluso a medida que el baño en.

Armado con una mejor comprensión de las propiedades de depósitos de níquel electrolítico de fósforo, ambos chapistas e ingenieros deben ser capaces de seleccionar eficazmente el proceso adecuado ES así como guías necesarias de funcionamiento para cada aplicación que se encuentran. La siguiente sección proporciona una visión general de estas aplicaciones.



1.4.1.5. -APLICACIONES



Porcentaje de las diferentes aplicaciones a las que se destina el niquelado químico

El niquelado químico esta ganando aceptación en el mercado desde los años 60 del siglo XX a través de una combinación de pruebas y errores, excelentes iniciativas de marketing y el compromiso de muchos pioneros de enchapado de tiendas dispuestas a tomar en una tecnología incipiente. Hoy en día, niquelado químico ofrece a la comunidad de ingeniería una tecnología fiable y diversa en el cumplimiento de diversos problemas de aplicación. Un desglose aproximado de aplicaciones en todo el mundo para el niquelado químico se detalla a continuación.



1.4.1.5.1. -AUTOMÓVIL



Eje y pistón

Esta industria saca el máximo provecho de las muchas ventajas que ofrece el niquelado químico. Las propiedades de la película tales como la uniformidad, la resistencia a la corrosión, la lubricidad y la resistencia al desgaste son razones por las que el uso en aplicaciones de automoción continúa creciendo. Históricamente, un segmento de mercado sensible al coste, los fabricantes de automóviles han adoptado el uso de los materiales de bajo coste chapados con una fina capa de niquelado químico para satisfacer los estrictos requisitos de una manera económica. Los sistemas de inyección de combustible, filtros de combustible de aluminio, pasadores de freno y las válvulas de escape son sólo unas pocas aplicaciones que aprovechan al máximo la resistencia a la corrosión de la película. Los ejes diferenciales de piñón y una variedad de pasadores y arandelas están chapados en grandes cantidades de revestimientos debido a la lubricidad, propiedades de resistencia al desgaste y anti-gripaje. Los pistones de freno están recubiertos en níquel no electrolítico brillante, con una riqueza media de fósforo y tratados térmicamente para aumentar la dureza y resistencia al desgaste. En los pistones se emplean gruesos depósitos brillantes para mejora el acabado superficial y obtener una menor fricción. Los yugos de hierro deslizantes se recubren para eliminar el ruido asociado con el gripado.



Las futuras aplicaciones más probables es que incluyen el uso de materiales compuestos ES como PTFE, nitruro de boro y carburo de silicio. El uso y el crecimiento de la tecnología de pila de combustible en los automóviles se muestra prometedor y el níquel podría desempeñar un papel importante. La ES se enfrenta con un desafío cuando entro en vigor la Directiva sobre el final de la Vida del Vehículo (ELV) que prohíbe el uso de varios metales tóxicos a menudo se encuentran en los depósitos ES. Cuando se promulgo se considero como una barrera, pero muchos expertos consideran que la Directiva de VFU y otras iniciativas ecológicas similares han hecho avanzar la tecnología ES.

1.4.1.5.2. -AEROESPACIAL

Los ingenieros de diseño han encontrado que la combinación de las propiedades funcionales de níquel químico son muy atractivas para su uso aeroespacial. Debido a los problemas de fiabilidad obvios asociados con este segmento de mercado, a largo plazo, la evaluación, a fondo de níquel electrolítico ha estado en marcha y ha realizado un lento progreso. El éxito de las pruebas y la solicitud de un número de años dio lugar a una mejor comprensión de cuándo y cómo utilizar el níquel no electrolítico. Su empleo en los montajes de motor, servoválvulas, tren de aterrizaje, álabes de turbina y similares han encontrado un uso extendido. A diferencia de cromo duro, hizo hincapié en la compresión depósitos altos de fósforo no reducen significativamente la resistencia a la fatiga de los componentes críticos. Por esta razón y razones expuestas anteriormente, parece seguro que continuara ampliando su uso.



1.4.1.5.3. -ELECTRÓNICA



Disco duro

El uso de níquel electrolítico para aplicaciones electrónicas sigue creciendo y es sin duda el segmento de mercado más diverso. Las propiedades magnéticas, la resistencia a la corrosión y soldabilidad son las características que más han contribuido a su éxito.

Se utiliza ampliamente en la fabricación de unidades de disco duro, como una forma de proporcionar un revestimiento atómicamente liso en los discos de aluminio, las capas magnéticas se deposita entonces en la parte superior de esta película, usualmente por pulverización y el acabado con carbono y capas de protección de lubricación. Estas dos últimas capas proteger la capa subyacente magnética de avería de la cabeza de lectura / escritura si pierde su cojín de aire y entra en contacto con la superficie. La uniformidad, no magnético de carácter suave y fiable, la naturaleza libre de defectos prestan a su uso continuado.

Los disipadores de calor, los semiconductores, paquetes y componentes para las baterías, son ejemplos de otras aplicaciones electrónicas de alto volumen con níquel no electrolítico. Por ejemplo una matriz de conectores de aluminio y zinc fundido recubiertos con níquel para mejorar la resistencia al desgaste y la corrosión. La



uniformidad, conductividad eléctrica y soldabilidad son propiedades importantes para esta aplicación.

Un área de interés y crecimiento es el revestimiento de componentes de microondas. Con formas complejas y profundas zonas rebajadas níquel no electrolítico es ideal para actuar como una película de barrera resistente a la corrosión en la parte superior de aluminio y por debajo de la plata o capa final estaño electrolíticamente.

A pesar de ciertos obstáculos técnicos debe ser superado, el uso de níquel electrolítico de fósforo por debajo de medio de oro de inmersión en placas de circuitos, se muestra prometedor. Comúnmente conocido como el ENIG (oro electrolítico inmersión níquel) proceso, que ofrece una mejor vida útil en condiciones de humedad y mantiene excelente soldabilidad durante períodos de almacenamiento a largo. La energía renovable también parece ofrecer una promesa para ES en su uso para la metalización las células fotovoltaicas, se está desarrollando rápidamente.

1.4.1.5.4. -TRATAMIENTO QUÍMICO

Los requisitos para esta aplicación incluyen a menudo la necesidad de mantener la pureza del producto, además de las necesidades típicas para la uniformidad y resistencia a la corrosión. La selección del níquel químico adecuado es a menudo crucial para una aplicación con éxito. Estudios recientes han encontrado el contenido de fósforo juega un papel importante en el rendimiento general del depósito de ES en un entorno específico. Bombas, válvulas y bridas son normalmente recubiertas con 50-100 micras de níquel no electrolítico para aplicaciones muy severas.

1.4.1.5.5. -INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Un campo de pruebas para níquel no electrolítico en los últimos 25 años, el éxito de níquel electrolítico de estas aplicaciones está bien documentado. Las válvulas de bola, intercambiadores de calor, bombas, etc. fabricados con materiales menos costosos y recubiertos con el fósforo de alta ES ha contribuido en gran medida al éxito. La



resistencia a la corrosión en ambientes agresivos y la resistencia al desgaste, así como su uniformidad permitirá ES para mantener su posición dominante en este segmento del mercado.

1.4.1.5.6. -OTRAS APLICACIONES

Manipulación de alimentos, la protección del molde, herramientas de fundición, placas a los no conductores y la industria de la impresión son algunas otras aplicaciones donde se encuentra el uso de níquel electrolítico significativo. Aplicaciones textiles utilizan una excelente resistencia al desgaste y las características de lubricidad. Recubrimientos con materiales compuestos, tales como el nitrato de ES / boro han encontrado un mayor uso en aplicaciones que requieren extender la vida de servicio.

La forma más común de niquelado químico produce un revestimiento de aleación fósforo y níquel. El contenido de fósforo en los recubrimientos de níquel no electrolítico puede variar del 2% al 13%. Se utiliza comúnmente en aplicaciones de revestimiento de ingeniería donde se requiere resistencia al desgaste, dureza y protección contra la corrosión. Las aplicaciones incluyen válvulas de campos petroleros, rotores, ejes de transmisión, equipos de manejo de papel, barras de combustible, superficies ópticas para torneado con diamante, las perillas de las puertas, utensilios de cocina, accesorios de cuarto de baño, los eléctricos / mecánicos herramientas y equipo de oficina. También se usa comúnmente como un recubrimiento en la electrónica de placa de circuito impreso de fabricación, típicamente con una superposición de oro para evitar la corrosión. Este proceso se conoce como oro electrolítico de níquel inmersión.

Debido a la alta dureza del recubrimiento se puede utilizar para recuperar piezas desgastadas. Se puede aplicar recubrimientos de 25 a 100 micrómetros y mecanizarlos de nuevo a las dimensiones finales. Su perfil deposición uniforme significa que se puede aplicar a los componentes de complejos no fácilmente adaptados a otros recubrimientos duros que usan como el cromo duro.



Aplicación o característica deseada de la película	contenido bajo P (1-3% b.w.)	contenido medio-bajo P (4-6% b.w.)	Contenido medio P (7-9% b.w.)	Contenido alto P (10.5-12% b.w.)	EN con PTFE EN con nitrato de boro	EN con Carburo de silicio EN con diamante
Moderada resistencia al desgaste	▲	▲	▲		▲	▲
Fuerte resistencia al desgaste						▲
Resistencia a la corrosión según ASTM B117				▲		
Soldabilidad	▲			▲		
Exposición a alta temperatura	▲					
fricción baja					▲	
Resistencia química (ácido)				▲		
Resistencia química (base)	▲	▲				
Brillo		▲	▲			
Torneado con diamante				▲		
Sin magnetísimo				▲		

Guía general para seleccionar un níquel no electrolítico para una aplicación específica o requisito.



1.4.2. -FERTILIZANTE

Un fertilizante es un tipo de sustancia o denominados nutrientes, en formas químicas saludables y asimilables por las raíces de las plantas, para mantener y/o incrementar el contenido de estos elementos en el suelo. Las plantas no necesitan compuestos complejos, del tipo de las vitaminas o los aminoácidos, esenciales en la nutrición humana, pues sintetizan todo lo que precisan. Los hay en una docena de elementos químicos, que deben presentarse en una forma que la planta pueda absorber. Dentro de esta limitación, el nitrógeno, por ejemplo, puede administrarse con igual eficacia en forma de urea, nitratos, compuestos de amoníaco puro.

Un fertilizante es una sustancia destinada a abastecer y suministrar los elementos químicos al suelo para que la planta los absorba. Se trata, por tanto, de una reposición o aporte artificial de nutrientes.

Un fertilizante mineral es un producto de origen inorgánico, que contiene, por los menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante es que debe tener una solubilidad máxima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que los nutrientes entran en forma pasiva y activa en la planta, a través del flujo del agua.

Los nutrientes que necesitan las plantas para vivir y desarrollarse los obtienen a partir del aire o del suelo. El dióxido de carbono, aporta más del 50 % de los componentes que necesitan las estructuras de las plantas. Los vegetales son capaces de absorber el dióxido de carbono del aire y pese a que la mayor parte del dióxido de carbono proviene de la atmósfera, otra parte es absorbida del agua del suelo, e ingresa a través de sus raíces. A su vez el agua es devuelta a la atmósfera por respiración o transpiración completando el ciclo, (Bryant, 1983).

En el caso de nutrientes inorgánicos o minerales esenciales para las plantas son tomados a través del suelo. El contenido de nutrientes en la composición de las plantas es en general menor del 5 % de su peso. En la mayoría de las áreas cultivadas, la nutrición de minerales es inadecuada, por lo tanto hay que suplementarla con fertilizantes.



Estos elementos químicos o nutrientes pueden clasificarse en: macroelementos y microelementos.

- Los macroelementos son aquéllos que se expresan como:

% en la planta o g/100g

Los principales son: **N – P – K – Ca – Mg - S.**

- Los microelementos se expresan como:

ppm (parte por millón) = mg/kg = mg /1000g

Los principales son: **Fe – Zn – Cu – Mn – Mo- B – Cl.**



	Nitrógeno total N	(Fósforo) Ácido fosfórico total P ₂ O ₅	(Fósforo) Ácido fosfórico asimilable P ₂ O ₅	Potasa K ₂ O	Cal CaO	Magnesio MgO	Sulfato SO ₄ ⁼	Índice de acidez	Índice de basicidad
Abonos nitrogenados									
Amoníaco	82,2	-	-	-	-	-	-	148	-
Cloruro de amonio	24,0	-	-	-	-	-	-	128	-
Nitrato de amonio	32,5-34,0	-	-	-	-	-	-	60	-
Sulfato de amonio	20,5	-	-	-	-	-	59,0	110	
Nitrato de calcio	15,5	-	-	-	28,0	-	-	-	21
Urea cálcica	34,	-	-	-	13,0	-	-	28	-
Nitromoncal	20,5	-	-	-	10,0- 20,0	0,075	-	0	0
Salitre sódico	16,0	-	-	-	-	-	-	-	29
Urea	42,0	-	-	-	-	-	-	75	-
Abonos fosfatados									
Escorias Thomas molidas	-	17,5	16,0	-	47,0	4,0	0,5	-	-
Metafosfato de calcio	-	64,0	53,0	-	23,0	-	-	-	-



	Nitrógeno total N	(Fósforo) Ácido fosfórico total P ₂ O ₅	(Fósforo) Ácido fosfórico asimilable P ₂ O ₅	Potasa K ₂ O	Cal CaO	Magnesio MgO	Sulfato SO ₄ ⁼	Índice de acidez	Índice de basicidad
Fosfato en bruto, exento de flúor	-	20,0-30,0	18,0-24,0	-	28,0- 42,0	-	-	-	-
Fosfato bicálcico	-	40,0	39,0	-	32,0	-	-	-	-
Superfosfato	-	14,5-20,0	14,5-20,0	-	25,0- 30,0	0,5	28,0- 31,0	-	25
Superfosfato doble	-	45,0-50,0	43,0-49,0	-	17,0- 20,0	0,5	2,5	-	-
Abonos potásicos									
Cloruro de potasio	-	-	-	48,0- 62,0	0-3,0	0-0,8	0-7,0	0	0
Sulfato de potasio	-	-	-	48,0- 52,0	0-2,5	0-2,0	39,0- 48,0	0	0
Abonos potásicos nitrogenados									
Nitrato de potasio	13,0	-	-	44,0	0,5	0,5	-	-	23
Nitrato de sodio y potasio	15,0	-	-	15,0	-	-	-	-	26

Contenido de elementos nutritivos de los fertilizantes comerciales en %.



1.4.2.1. -PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTES

Todos los proyectos de producción de fertilizantes requieren la transformación de compuestos que proporcionan los nutrientes para las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio, sea individualmente (fertilizantes "simples"), o en combinación (fertilizantes "mixtos").

El amoníaco constituye la base para la producción de los fertilizantes nitrogenados, y la gran mayoría de las fábricas contienen instalaciones que lo proporcionan, sin considerar la naturaleza del producto final. Asimismo, muchas plantas también producen ácido nítrico en el sitio. Los fertilizantes nitrogenados más comunes son: amoníaco anhidro, urea (producida con amoníaco, nitrato de amonio (producido con amoníaco y ácido nítrico), sulfato de amonio (fabricado a base de amoníaco y ácido sulfúrico) y nitrato de calcio y amonio, o nitrato de amonio y caliza el resultado de agregar caliza $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ al nitrato de amonio.

Los fertilizantes de fosfato incluyen los siguientes: piedra de fosfato molida, escoria básica (un subproducto de la fabricación de hierro y acero), superfosfato (que se produce al tratar la piedra de fosfato molida con ácido sulfúrico), triple superfosfato (producido al tratar la piedra de fosfato con ácido fosfórico), y fosfato mono y diamónico. Las materias primas básicas son: piedra de fosfato, ácido sulfúrico (que se produce, usualmente, en el sitio con azufre elemental), y agua.

Todos los fertilizantes de potasio se fabrican con salmueras o depósitos subterráneos de potasa. Las formulaciones principales son cloruro de potasio, sulfato de potasio y nitrato de potasio.

Se pueden producir fertilizantes mixtos, mezclándolos en seco, granulando varios fertilizantes intermedios mezclados en solución, o tratando la piedra de fosfato con ácido nítrico (nitrofosfatos).

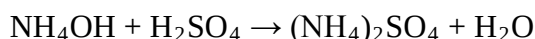
También es posible hacer fertilizante de forma natural.



1.4.2.2. -CLASES DE ABONOS

Hay dos formas de hacer abonos o fertilizantes minerales. La forma más fácil es a través de minas (ejemplo, nitrato potásico, cloruro potásico). La otra forma es a través de procesos de síntesis química en plantas químicas.

Hasta 1850 aproximadamente, el abono usado era únicamente el abono orgánico, es decir, una mezcla de estiércol, guano compostaje con agua. Este fue el primer abono líquido empleado. Hasta mediados del siglo XX también se usaba pescado como fertilizante. El primer abono mineral “de síntesis química” fue el sulfato amónico $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.



En este compuesto el SO_2 proviene del azufre (S). Si quemamos azufre e introducimos el humo que sale en agua obtenemos H_2SO_4 . El amonio (NH_4) provenía de las minas de carbón. Estas minas se inundaron de agua para obtener hidróxido de amonio, es decir:



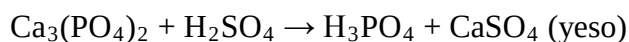
Más tarde comenzaron a aspirar el amoníaco gaseoso fuera de la mina y una vez fuera lo mezclaban con el agua.

Hace unos 200 años se encontraron minas de nitrato sódico (NaNO_3) en Chile. De este modo, el nitrato sódico fue el segundo abono mineral usado. En España, en 1880 una empresa comenzó a exportar nitrato sódico

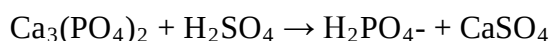
El siguiente abono mineral fue el fósforo, en forma de fosfatos, provenientes de las rocas fosfatadas. El P es un elemento muy reactivo que no existe en la naturaleza en su forma natural. En las minas suele estar unido al calcio, como fosfato cálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. La mayoría del calcio procede de las rocas carbónicas, en forma de carbonato cálcico (CaCO_3), mientras que en las minas de fósforo está en forma de fosfato cálcico. El fósforo unido al calcio y oxígeno es demasiado estable para ser asimilado por las plantas, por lo que permanece mucho P en el suelo que la planta no puede usar.



Por ello, si tomamos el fosfato cálcico con ácido sulfúrico obtenemos ácido fosfórico, que es la forma más asimilable por la planta.



Si bien, el ácido fosfórico obtenido es un derivado lo consideramos como H_3PO_4 :



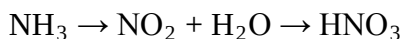
Mientras el $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ está en forma de cristales, el H_3PO_4 es líquido. Si bien, el P aparece en los abonos como $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ por ser asimilable por las plantas. También se venden abonos fosfatados en forma de $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, conocido como DAP y en forma de $(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$, conocido como MAP. Tanto el DAP como el MAP son abonos granulados mezclados con tierra, lo que le da un aspecto granulado como “trigo”.

El potasio (K) apareció en Austria, en minas de cloruro potásico KCl hace unos 150 años.

El gran salto de los abonos minerales fue en los años 1920-1930, tras la 1ª Guerra Mundial. Durante la 1ª Guerra Mundial, en 1905, el químico alemán Fritz Haber encontró la forma de fabricar amoníaco que se usa en la actualidad.



El ácido nítrico se obtiene quemando NH_3 , para pasarlo a NO_2 , que mezclamos con agua, según el proceso de Ostwald:

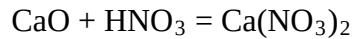


Podemos obtener el nitrato amónico a partir del ácido nítrico, usando el proceso de Ostwald:

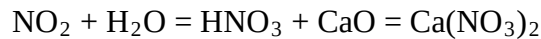




Otro abono es el nitrato cálcico $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, que apareció en 1920, de la forma:

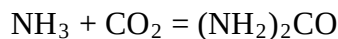


El mayor productor de este abono es Noruega, a partir del NO_2 procedente de los rayos:



Otro es el nitrato sódico NaNO_3 , que no es un buen abono, pero que se sigue empleando por tradición:

En 1930 aparece la urea, que es actualmente el abono nitrogenado más producido en el Mundo:



Vemos como el nitrógeno puede aparecer como nitrato, amoníaco y ureico. Debido a que durante la 1ª Guerra Mundial se crearon muchas fábricas de nitrato amónico para explosivos $\text{NH}_4(\text{NO}_3)$, al terminar la guerra muchas de estas fábricas se emplearon para la fabricación de este nitrato como abono. Por ello, el primer abono líquido fue el “agua-amonía”, que se incorpora al suelo porque en la superficie se evapora:



Otro abono líquido muy usado antes de la 1ª Guerra Mundial consistía en tomar amoníaco gaseoso e inyectarlo dentro del suelo.

Un abono desarrollado antes de la 1ª Guerra Mundial, pero empleado tras ésta, fue el N_32 , que procede del nitrato amónico y de la urea.

También tenemos como abono líquido el N_{20} , procedente del nitrato amónico y agua, que también comenzó a usarse sobre 1950. Los fertilizantes complejos se caracterizan por su consistencia, ya que los elementos componentes son fusionados químicamente a altas temperaturas usando complejos procesos y aditamentos como azufre, ácido



sulfúrico y otros minerales. Si bien tienen un costo más elevado, la calidad por consistencia es considerable.

1.4.2.3. -CLASIFICACIÓN DE FERTILIZANTES MINERALES

Se pueden clasificar en Sólidos y Líquidos.

Dentro de los abonos minerales sólidos encontramos los abonos simples (un solo nutriente), compuestos (más de un nutriente) y blending (mezcla de los anteriores)

Dentro de los abonos minerales líquidos encontramos los abonos simples y los compuestos.

Ejemplos:

- KNO_3
- $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
- $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$

La mayoría de los abonos compuestos que se encuentran en el mercado son en realidad Blending. La diferencia entre Blending y abono compuesto es que el primero se puede separar físicamente. (ej, mientras que la urea es blanca el DAP son cristales que pueden verse con lupa, por tanto DAP es en realidad un Blending).

Generalmente los abonos líquidos son abonos compuestos porque no pueden separarse fácilmente.



1.4.2.4. -IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES

Los impactos socioeconómicos positivos de esta industria son obvios: los fertilizantes son críticos para lograr el nivel de producción agrícola necesario para alimentar la población mundial, rápidamente creciente. Además, hay impactos positivos indirectos para el medio ambiente natural que provienen del uso adecuado de estas sustancias; por ejemplo, los fertilizantes minerales permiten intensificar la agricultura en los terrenos existentes, reduciendo la necesidad de expandirla hacia otras tierras que puedan tener usos naturales o sociales distintos.

Sin embargo, los impactos ambientales negativos de la producción de fertilizantes pueden ser severos. Las aguas servidas constituyen un problema fundamental. Pueden ser muy ácidas o alcalinas y, dependiendo del tipo de planta, pueden contener algunas sustancias tóxicas para los organismos acuáticos, si las concentraciones son altas: amoníaco o los compuestos de amonio, urea de las plantas de nitrógeno, cadmio, arsénico, y fósforo de las operaciones de fosfato, si está presente como impureza en la piedra de fosfato. Además, es común encontrar en los efluentes, sólidos totales suspendidos, nitrato y nitrógeno orgánico, fósforo, potasio, y (como resultado), mucha demanda de oxígeno bioquímico (DOB5); y, con la excepción de la demanda de oxígeno bioquímico, estos contaminantes ocurren también en las aguas lluvias que escurren de las áreas de almacenamiento de los materiales y desechos. Es posible diseñar plantas de fosfato de tal manera que no se produzcan descargas de aguas servidas, excepto en el caso del rebosamiento de una piscina de evaporación durante las temporadas de excesiva lluvia, pero esto no siempre es práctico.

Los productos de fertilizantes terminados también son posibles contaminantes del agua; su uso excesivo e inadecuado puede contribuir a la eutrofización de las aguas superficiales o contaminación con nitrógeno del agua freática. Además, la explotación de fosfato puede causar efectos negativos. Estos deben ser tomados en cuenta, cuando se predicen los impactos potenciales de proyectos que incluyan las operaciones de extracción nueva o expandida, sea que la planta está situada cerca de la mina o no (ver la sección: "Extracción y Procesamiento de Minerales").



Los contaminantes atmosféricos contienen partículas provenientes de las calderas, trituradores de piedra de fosfato, fósforo (el contaminante atmosférico principal que se originan en las plantas de fosfato), neblina ácida, amoníaco, y óxidos de azufre y nitrógeno. Los desechos sólidos se producen principalmente en las plantas de fosfato, y consisten usualmente en ceniza (si se emplea carbón para producir vapor para el proceso), y yeso (que puede ser considerado peligroso debido a su contenido de cadmio, uranio, gas de radón y otros elementos tóxicos de la piedra de fosfato).

La fabricación y manejo de ácido sulfúrico y nítrico representa un riesgo de trabajo y peligro para la salud, muy grande. Los accidentes que producen fugas de amoníaco pueden poner en peligro no solamente a los trabajadores de la planta, sino también a la gente que vive o trabaja en los lugares aledaños. Otros posibles accidentes son las explosiones, y las lesiones de ojos, nariz, garganta y pulmones.

Como algunos de los impactos que se han mencionado pueden ser evitados completamente, o atenuados más exitosamente a menor costo, si se escoge el sitio con cuidado.

Sin embargo se debe entender el aprovechamiento del empleo de fertilizantes orgánicos, y lo mismo que de minerales, como un modo importante de intervención del hombre en el ciclo de sustancias de la agricultura. A través de los animales cuyos excrementos son aprovechados, pasan nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes a los excrementos.

1.4.2.4.1. -DESECHOS SÓLIDOS

Los desechos sólidos son aquellos que están considerados como un peligro para nuestra salud y la de nuestras familias. Algunos de estos desechos, son alimentos que se dejan tirados a la intemperie, siendo estos orgánicos tienden a descomponerse fácilmente, por lo que se irán acumulando y produciendo un mal olor, o bien, enfermedades.

1.4.2.4.2. -REDUCCIÓN DE LOS DESPERDICIOS

Se emplean importantes cantidades de agua en la industria de fertilizantes, para los procesos, enfriamiento, y operación de los equipos de mitigación de la contaminación.



Los desechos líquidos se originan en los procesos, torres de enfriamiento y purgación de las calderas, causando derrames, fugas y escurrimiento. Sin embargo, existe la oportunidad de reutilizar estas aguas dentro de las plantas, y reducir las demandas de la planta sobre las existencias locales. Por ejemplo, el agua servida que proviene de la producción de ácido fosfórico puede ser utilizada, nuevamente, como agua de proceso en la misma planta. Otras aguas servidas pueden ser empleadas en los condensadores, lavadores de gases y sistemas de enfriamiento.

El yeso de las plantas de fertilizantes de fosfato, puede ser utilizado en la fabricación de cemento y producción de bloques para la construcción, y planchas de yeso. Además, se utiliza el yeso para cubrir los rellenos sanitarios. Si está contaminado con metales tóxicos o material radiactivo, requerirá un tratamiento especial.

Las empresas de agua potables de los Estados Unidos emplean ácido hidrofluosilícico ampliamente, para fluorización porque, como desecho de la producción de fertilizantes de fosfato, es mucho menos costoso que fluoruro de sodio. Se transporta el ácido grandes distancias en los Estados Unidos, pero, en general, su exportación no es económicamente atractiva. Sin embargo, pueden presentarse circunstancias en las que pueda ser reutilizado por un país en desarrollo, especialmente después de convertirlo en una sal de sodio. Además, el ácido puede ser utilizado para producir fluoruro de aluminio.

1.4.2.4.3. -AMONÍACO

La producción, uso y almacenamiento de amoníaco requiere un diseño acertado, buen mantenimiento y monitorización, para reducir al mínimo el riesgo de fugas o explosiones accidentales. Es esencial tener un plan de contingencia para proteger al personal de la planta y las comunidades aledañas. El amoníaco se puede aplicar directamente al suelo por medio de tractores equipados con mangueras o tubos inyectoros. En almacenamiento tiene comportamiento de sustancia líquida, por lo que el nitrógeno inyectado al suelo tiene escaso nivel de fuga al medio ambiente. En grandes plantaciones de caña de azúcar, la fertilización con amoníaco es más eficiente que aplicar urea u otro fertilizante sólido con nitrógeno.



1.4.2.5. -PLANTAS DE PROCESAMIENTO

Los temas generales que han de ser considerados durante la selección del sitio para una planta industrial destinada a la producción de fertilizantes se presentan en la sección: "Ubicación de Plantas y Desarrollo de Parques Industriales". La naturaleza de la producción de fertilizantes es tal que los impactos sobre la calidad del agua, y los de la extracción de las materias primas y transporte de los materiales al granel a la planta y fuera de ésta, merecen especial atención durante la evaluación de los sitios alternativos. Si la calidad de las aguas de recepción es inferior, o el caudal es insuficiente, son inadecuadas, han para recibir los efluentes bien tratados. Si la demanda de materia prima para una planta de fosfato requiere la apertura de canteras adicionales, éstas deben ser identificadas (si son conocidas), y sus impactos ambientales deben ser considerados como parte del proyecto.

1.4.2.5.1. *-PROCESO DE FABRICACIÓN*

Aunque existe una variedad de alternativas para la planificación y ejecución de los proyectos, generalmente, las materias primas que están disponibles y la demanda para los productos terminados específicos, limitan el tipo de proceso de fabricación de fertilizantes que se puede utilizar. Al tratarse de un proceso de ácido fosfórico, la calidad del subproducto de yeso puede ser un parámetro: el proceso hemihidrato puede producir yeso que sirva, directamente, como aditivo para la fabricación de cemento.

Las plantas de coquificación de hierro y acero son una fuente de materia prima alternativa, pero limitada, para la producción de fertilizantes de sulfato de amonio (producido de amoníaco y ácido sulfúrico); el sulfato de amoníaco es un subproducto de la producción de coque, y también de la producción de caprolactam (nylon). El gas natural, el petróleo, la nafta y el carbón son materias primas alternativas para la producción de amoníaco. El azufre y las piritas son opciones para la producción de ácido sulfúrico.

El gas natural, el petróleo y el carbón son diferentes combustibles que pueden servir para generar vapor en las plantas de fertilizantes.



1.4.2.5.2. -CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se deben considerar las siguientes medidas para controlar las emisiones atmosféricas que emanan de las operaciones de las plantas: diseño del proceso y selección de los equipos, precipitadores electrostáticos, lavadores de los gases de escape, filtros y ciclones.

1.4.2.5.3. -CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

Se puede controlar la contaminación del agua causada por la descarga de efluentes o el escurrimiento proveniente de las pilas de desechos, si el monitoreo es adecuado.

El diseño del proyecto debe contemplar las siguientes opciones, con respecto al tratamiento de las aguas servidas y de enjuague:

- reutilización de las aguas servidas;
- intercambio iónico o filtración de membrana (plantas de ácido fosfórico);
- neutralización de las aguas servidas ácidas o alcalinas;
- sedimentación, floculación y filtración de los sólidos suspendidos
- uso de las aguas servidas para riego.
- tratamiento biológico (nutricación-desnutricación).

1.4.2.5.4. -ADMINISTRACIÓN Y CAPACITACIÓN

Los impactos potenciales de los procesos de fabricación de fertilizantes sobre el aire, el agua y el suelo, implican la necesidad de tener un apoyo institucional, para asegurar que sea eficiente, la supervisión del manejo de los materiales, y para controlar la contaminación y reducir los desperdicios. Se debe capacitar al personal de la planta en las técnicas empleadas para controlar la contaminación del aire y el agua. A menudo, los fabricantes de los equipos, provienen la capacitación necesaria en cuanto a su operación y mantenimiento. Se deben establecer procedimientos normales de operación de la planta, para que sean implementados por la gerencia. Estos deben incluir la operación del gobierno local, así como los servicios comunitarios (médicos, bomberos, etc.), juegan un papel clave en este tipo de emergencia; por eso, deben ser incluidos en el



proceso de planificación. Los ejercicios periódicos son componentes importantes de los planes de respuesta. Se deben establecer e implementar normas de salud y seguridad en la planta, incluyendo las siguientes:

- Provisiones para prevenir y responder a fugas casuales de amoníaco o derrames fortuitos de Ácido sulfúrico, fosfórico o nítrico;
- Procedimientos para reducir al mínimo el peligro de explosión del nitrato de calcio y amonio;
- Procedimientos para asegurar que la exposición a los vapores de amoníaco y óxido de nitrógeno (plantas de fertilizantes nitrogenados), a los vapores de di y trióxido de azufre, y a la neblina de ácido sulfúrico, sea inferior a las normas fijadas por el Banco Mundial;
- Un programa de exámenes médicos rutinarios;
- Capacitación permanente sobre la salud y seguridad en la planta, y buenas prácticas de limpieza ambiental;

Se deben fijar normas para las emisiones y efluentes de la planta, de acuerdo con los reglamentos nacionales, si existen; caso contrario, deben establecerse de acuerdo a los lineamientos del Banco Mundial. Las agencias gubernamentales que tienen la responsabilidad de monitorear la calidad del aire y el agua, operar los equipos de control de la contaminación, implementar las normas, y vigilar las actividades de eliminación de desperdicios, pueden requerir capacitación especializada y deben tener la autoridad y equipos necesarios. La evaluación ambiental debe incluir la valorización de la capacidad local en este respecto, y recomendar la incorporación, en el proyecto, de los elementos apropiados de asistencia.



1.4.2.5.5. -MONITOREO

Los planes específicos de monitoreo de las plantas de fertilizantes y los sitios dependen del caso y deben incluir:

- La opacidad del gas de la chimenea en forma continua.
- Pruebas periódicas (plantas de fosfato, solamente) para detectar las emisiones de partículas, compuestos de flúor, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre.
- Control de los óxidos de azufre en las plantas de ácido sulfúrico y de los óxidos de nitrógeno de las de ácido nítrico.
- Pruebas periódicas (plantas de nitrógeno, solamente) para verificar las emisiones de partículas, amoníaco y óxidos de nitrógeno.
- Parámetros del proceso (continuo) que verifiquen la operación de los equipos que controlan la contaminación atmosférica (p.ej., los registros de la temperatura del gas de la chimenea indicarán si los lavadores están fuera de servicio).
- La calidad del aire del lugar de trabajo para detectar los siguientes contaminantes, según el tipo de planta y proceso: óxidos de nitrógeno, amoníaco, dióxido de azufre, compuestos de fluoro y partículas.
- La calidad del aire ambiental alrededor de las plantas para verificar la presencia de los contaminantes correspondientes.
- La calidad de las aguas de recepción, aguas abajo, para controlar la presencia de oxígeno disuelto y los contaminantes correspondientes.
- El control del pH (continuo) de las corrientes de desechos líquidos, así como los sólidos totales suspendidos o disueltos, amoníaco, nitratos, nitrógeno orgánico, fósforo, Demanda de Oxígeno Bioquímico (DOB5), aceite y grasa (si se utiliza aceite combustible).
- Las descargas de agua lluvia para detectar la presencia de fósforo, compuestos de fluoro, sólidos totales suspendidos y el pH.
- Yeso para controlar el contenido de cadmio y otros metales pesados y radioactividad.
- Las áreas de trabajo de todas las plantas, a fin de controlar los niveles de ruido.
- El pH de las aguas de recepción, así como los sólidos totales suspendidos, y la calidad del aire ambiental para controlar la presencia de partículas.



- Las pilas de acopio de yeso y las piscinas, para controlar el escurrimiento e infiltración.
- Inspecciones para asegurar que se cumplan los procedimientos de seguridad y de control de la contaminación, así como los programas adecuados de mantenimiento.



1.4.2.6. -IMPORTANCIA DEL FÓSFORO EN EL CRECIMIENTO Y FISIOLÓGIA VEGETAL

El fósforo (P) constituye uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, junto con el nitrógeno y el potasio. El P cumple importantes funciones bioquímicas y fisiológicas, como formar parte de biomoléculas (e.g. fosfolípidos, proteínas, nucleótidos, ATP, etc.). Desde el punto de vista bioquímico, forma parte de las unidades monoméricas (“ladrillos”) de las cadenas polinucleótidas como el ADN, le confiere al P una función muy relevante. Por ello, se suele comentar en algunos artículos de divulgación que el P es fundamental para la vida, puesto que forma parte de las unidades fundamentales que la hacen posible.

Desde una perspectiva agronómica y de producción vegetal, el P cumple importantes funciones:

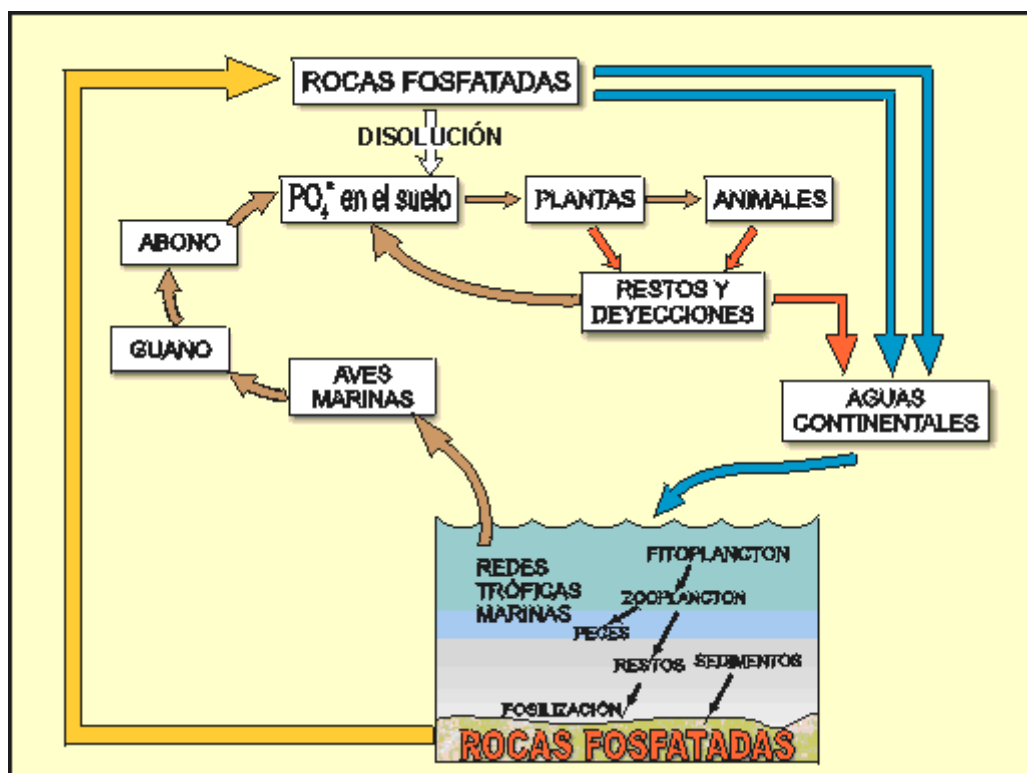
- Estimula el crecimiento y expansión foliar
- Promueve el crecimiento de las raíces
- Mejora la calidad de frutos, granos, etc.

En esquemas de producción sustentables, el P forma parte de los programas de fertilización, a través del uso de fertilizantes químicos, agro-minerales (e.g. roca fosfórica) o enmiendas orgánicas (e.g. estiércol, compost, etc.), dependiendo de las características de los sistemas productivos.

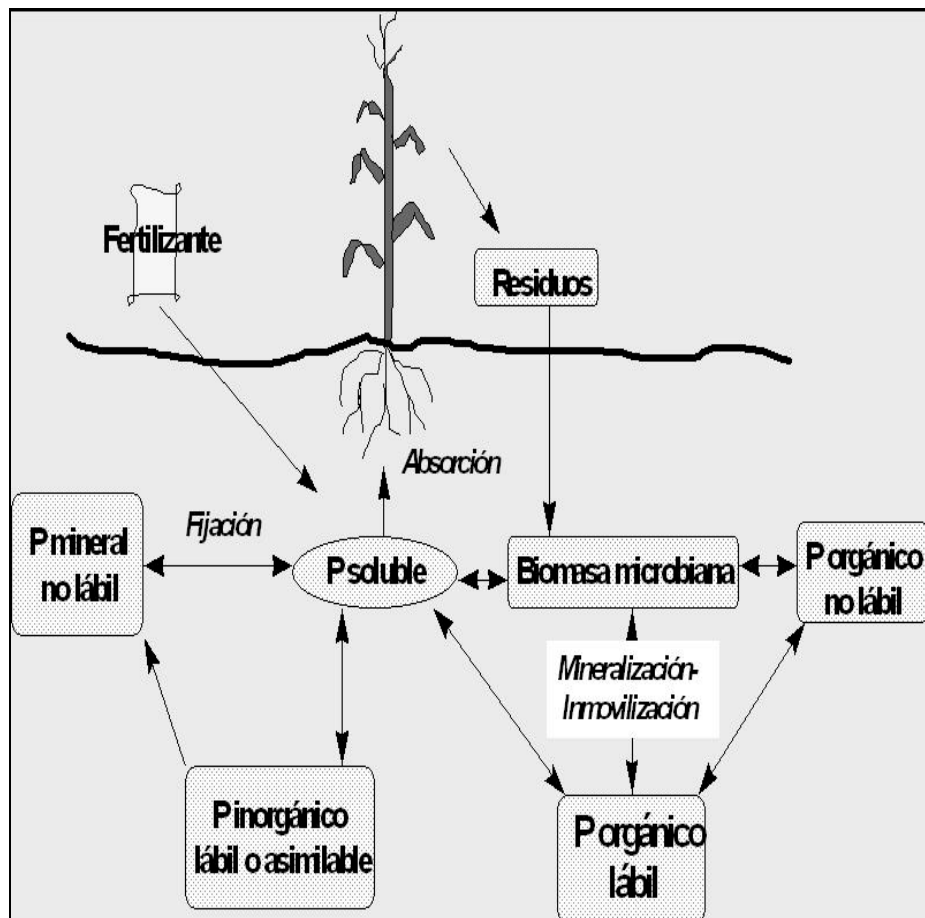


1.4.2.7. -CICLO DEL FÓSFORO Y CUAL SON SUS COMPONENTES

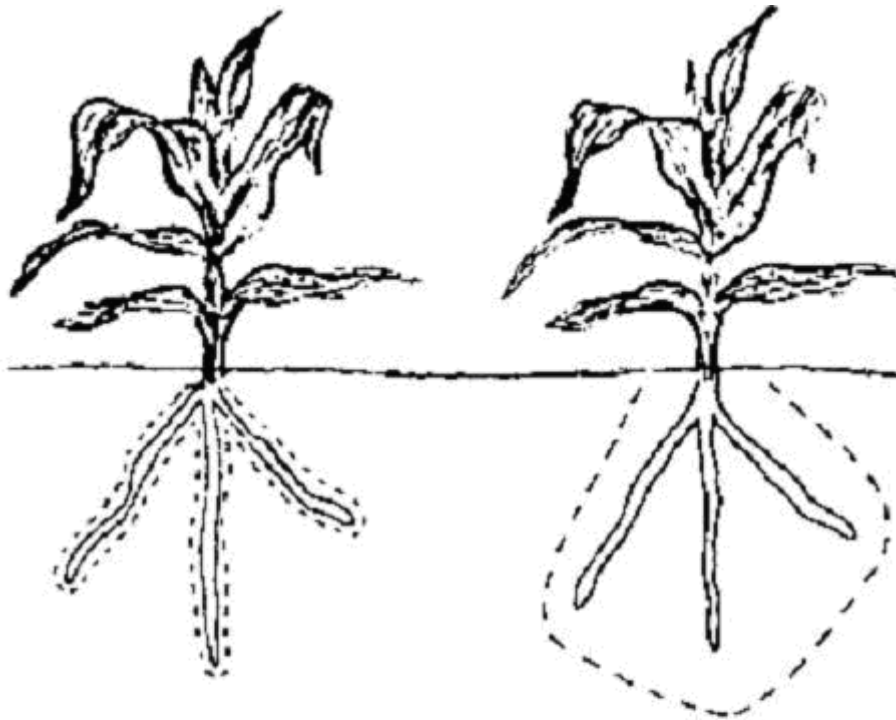
El conocimiento de los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes a escala de sistema suelo-cultivo, permite conocer la estructura y funcionamiento de los nutrientes en dicho sistema, fundamental para la comprensión y también para la toma decisiones de manejo agronómico. Existen numerosas formas de representar el ciclo del P en agroecosistemas. Dentro del ciclo del P, los ingresos de P al sistema corresponden al agregado de P a través de fertilizantes. En suelos sin erosión, las salidas de P de los agroecosistemas están conformadas por la remoción de P por las plantas (e.g., granos, frutos, etc.). Los demás procesos podemos considerarlos como “ciclados” o ciclos internos. Las plantas absorben el P que se encuentra en la fracción “soluble”, que presenta muy baja concentración. Este “pool” se encuentra en equilibrio dinámico con las demás fracciones, que abastecen a la fracción del P en solución. La forma química en la cual las plantas absorben el P es como ión ortofosfato ácido o diácido. Por tratarse de un nutriente poco móvil en el suelo, la llegada del P al sistema radicular de las plantas ocurre básicamente por difusión e intercepción radicular. La velocidad del proceso de difusión depende de varios factores, siendo los mas importantes la diferencia de concentración de P en el área de difusión, la temperatura, la humedad edáfica y la tortuosidad del suelo.



Ciclo del fósforo en agroecosistemas



Ciclo biogeoquímico del fósforo en agroecosistemas



**Zona de absorcion de
nutrientes inmoviles
de la planta**

(PO_4 ,K,Ca,Mg,Zn, Fe)

**Zona de absorcion
de nutrientes
moviles de la planta**

(NO_3 , SO_4 ,Cl, BO_3)

Movilidad de nutrientes en el suelo



La reserva de P del suelo se encuentra tanto en la materia orgánica (MO) como en compuestos inorgánicos. Las proporciones de compuestos orgánicos e inorgánicos dependen del tipo de suelo y edafogénesis. En el sudeste de la Región Pampeana argentina, las menores temperaturas determinaron procesos de edafización con una importante génesis de compuestos orgánicos humificados, que generan que el P pueda representar el 80% del P total, mientras que en el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, las mayores temperaturas durante la edafogénesis inducen menores acumulaciones de MO humificada, con proporciones de P orgánicos del orden del 50%, según tipo de suelo. Evidentemente, la degradación de los suelos por erosión, han dado lugar en las últimas décadas pérdidas muy considerables de MO y los nutrientes principales asociados a esta fracción edáfica (N, P, S, algunos micronutrientes, etc.). En cuanto a los compuestos inorgánicos, el P en el suelo se encuentra en diversas formas mineralógicas, cuyo abordaje escapa el alcance de este posteo. La apatita, y sus diferentes formas mineralógicas, constituyen una forma importante del P inorgánico del suelo, y su origen es heredado a partir del material originario, cuyo principal aporte corresponde al Loess, depositado desde zonas periglaciares del oeste de la Argentina (zona Andina) tanto por acción del viento como por los ríos.

El P orgánico requiere ser mineralizado a formas inorgánicas (iones ortofosfatos) para que pueda ser aprovechado por las plantas. El proceso de mineralización del P se la puede dividir en mineralización biológica y bioquímica. La mineralización biológica corresponde a la degradación microbiana de compuestos orgánicos donde el P se encuentra ligado al carbono (C), y cuyo producto de degradación es el CO_2 . Este proceso es el mismo por el que se libera N y S, dependiendo fundamentalmente de la temperatura y humedad edáfica. La mineralización bioquímica es mediada por enzimas (e.g. fosfatasas) y también puede representar una proporción importante de P mineralizado.



Los residuos aportados por los cultivos, si bien no constituyen un ingreso de P al sistema suelo-cultivo, sí representan importantes fuentes de nutrientes biodisponibles para el cultivo, dependiendo de la relación C: N y C:N:P del material, y también del ambiente edáfico (temperatura, humedad, pH, etc.). Cuando las relaciones C:N son mas bajas (e.g. residuos de leguminosas como soja) puede haber liberación neta de nutrientes, mientras que en los residuos con mayores relaciones C:N, puede verificarse inmovilización transitoria de nutrientes.

Las diferentes formas orgánicas e inorgánicas se pueden clasificar también según la “labilidad” o biodisponibilidad para las plantas. Compuestos inorgánicos poco lábiles podrían ser aquellos de naturaleza aromática muy condensada presentes en el humus, mientras que los minerales fosfatados primarios, podrían ser ejemplos de pooles de P poco lábiles y por ende de escasa disponibilidad para la nutrición vegetal. Las fracciones más lábiles corresponden a fracciones más jóvenes, que provienen de los residuos de los cultivos, y tienen una importante función en el abastecimiento de P de corto plazo. Los sistemas de cultivo bajo siembra directa estabilizados, con una fertilización balanceada (aporte de nutrientes limitantes para el sistema de producción) y con elevado aporte de C al sistema. Conceptualmente debemos entender que todas las fracciones de P mencionadas (P lábil, no lábil o poco lábil, etc.) tanto orgánicas como inorgánicas, se encuentran en permanente equilibrio, siendo las poco lábiles el pool o fracción de reserva de P del sistema. Los cultivos van agotando el P en solución, que se encuentra muy poco concentrado, y dichas zonas de agotamiento son progresivamente abastecidas desde fracciones más lábiles y estas últimas son provistas por formas de P de reserva o no lábiles.

Con fines de diagnóstico de fertilidad de suelos, se evalúan diferentes extractantes de P que se correlacionen con la absorción y/o acumulación de biomasa de cultivos. Estos estudios se denominan de “correlación”. Para este fin, resulta frecuente utilizar plantas de raigrás o alguna especie similar en ensayos de invernadero, donde es posible controlar el ambiente y reducir fuentes de variabilidad. Una vez seleccionados los



extractantes (e.g. P Bray 1, P Olsen, etc.) que mejor correlacionan con el crecimiento (i.e., acumulación de biomasa) se pasa a la segunda etapa que consiste en la calibración de la técnica analítica. Los ensayos de calibración, que pueden ser en el campo y también en ensayos de invernadero, tienen como objetivo evaluar la relación entre la

respuesta a la fertilización con P y el contenido del extractante en el suelo. En la Región Pampeana argentina se dispone de calibraciones para realizar recomendaciones de fertilización fosfatada en diversas regiones edafo-climáticas y cultivos.



1.4.2.8. -FERTILIZANTES UTILIZADOS EN FERTILIZACIÓN DE CULTIVOS DE GRANOS

Existen numerosos fertilizantes fosfatados utilizadas en la agricultura. El uso de fuentes orgánicas es poco relevante en cultivos de grano, siendo más utilizados en cultivos hortícolas. También el uso de roca fosfórica es muy escaso, por lo cual no son abordados en este escrito.

Fertilizante	Contenido de P ₂ O ₅ (%)	Otros nutrientes
Fosfato monoamónico (MAP)	52	11% de N
Fosfato diamónico (DAP)	46	18% de N
Superfosfato Simple (SFS)	21	12% de S y 20% de Ca
Superfosfato Triple (SFT).	46	14% de Calcio

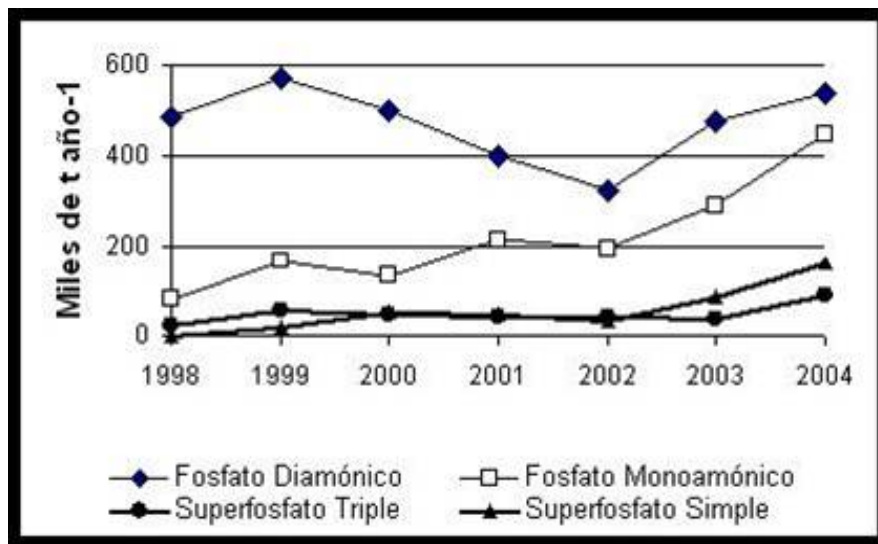
Contenido de nutrientes de principales fuentes fosfatadas

Los fertilizantes fosfatados denominados “superfosfatos” contienen como forma de P al fosfato monocálcico. Los fosfatos de amonio, que son los más solubles en agua, contienen P como aniones ortofosfatos. El superfosfato simple (SFS) tiene niveles variables de sulfato de calcio bihidratado dentro de su composición. Este “yeso residual” se produce como consecuencia de la reacción del ácido sulfúrico con la roca fosfórica (rica en calcio) durante el proceso de fabricación del fertilizante.

En la foto se muestra la evolución del consumo de fertilizantes fosfatados en la Argentina en los últimos años. Podemos observar que los fosfatos de amonio lideran el ranking en términos de volumen consumido. Del mismo modo cabe resaltar como, en los últimos años, la utilización del MAP viene expandiéndose marcadamente en detrimento de los volúmenes de DAP. También es interesante constatar el incremento



que se viene registrando en el consumo de SPS en los últimos años, posicionado fundamentalmente en el mercado de soja.



Evolución del consumo de fertilizantes fosfatados



1.4.2.9. -REACCIÓN LOS FERTILIZANTES FOSFATADOS EN EL SUELO

La reacción inicial de los fertilizantes fosfatados en el suelo depende, además de la forma química en las que se encuentra el P en el producto, del pH del medio y en gran medida de la interacción de los fosfatos con las arcillas y óxidos presentes en la fase sólida del suelo.

Los superfosfatos, por tener Ca en su composición, generan alrededor del gránulo residuos de fosfatos dicálcicos de muy baja solubilidad. Los fosfatos de amonio, por no tener Ca, no generan esos productos residuales de baja solubilidad durante la reacción inicial en el suelo (Melgar y Camozzi, 2002). El pH de disolución de las fuentes fosfatadas varía considerablemente. El superfosfato triple genera alrededor del gránulo una solución saturada muy ácida, con un pH de alrededor de 1.5, mientras que el pH de disolución del MAP es de 3.5 y del DAP de alrededor de 8. Estos procesos de disolución involucran un volumen muy reducido de suelo, son temporarios y no atesirarán una gran influencia en el pH global del suelo, a pesar de que pueden incidir sobre la nutrición de los cultivos en alguna etapa fenológica específica (Young et. al. 1985). Los autores también reportan el clásico efecto positivo del amonio en la eficiencia de aprovechamiento del P aplicado. Cuando se aplican productos de P amoniacales (MAP, DAP) la absorción de amonio por las plantas determinaría una acidificación a nivel de la zona rizosférica que mejoraría el aprovechamiento del P por una mejor disolución de los fosfatos. A pesar de estas variaciones en la reacción inicial de las fuentes fosfatadas, numerosos ensayos de fertilización no encuentran diferencias en eficiencia de aprovechamiento entre fuentes fosfatadas, cuando se consideran iguales dosis de P aportadas y no se presentan limitantes de N (Baumer, 1999). Sin embargo, las características químicas del fertilizante resultan fundamentales para analizar la tecnología de fertilización utilizada, en especial la forma de aplicación. Así, el autor reporta mayores niveles de fitotoxicidad con DAP respecto del MAP en aplicaciones en conjunto con la semilla y realiza recomendaciones de aplicación diferencial para cada una de las fuentes, siendo mayores las dosis de riesgo (dosis máxima a utilizar) en MAP



que en DAP, si bien es conocido que sobre el fenómeno de la fitotoxicidad inciden numerosos factores como tipo de suelo (textura, MO, etc.), humedad del perfil, distanciamiento entre hileras, cultivo, etc.

Independientemente de la fuente fosfatada utilizada, una vez que el fertilizante es disuelto e incorporado en el suelo, los aniones ortofosfatos son influenciados por los procesos y equilibrios químicos presentes en el mismo. Así, el P agregado pasa a formar parte de las diferentes fracciones del suelo (pooles) que tienen distintos grados de biodisponibilidad: solución de suelo, P retenido en arcillas y óxidos, P no lábil (P precipitado o de baja solubilidad), etc. El P presente en la solución de suelo es muy baja, y es de donde las plantas absorben el P. A medida que la disponibilidad de P en la solución del suelo se va agotando, es reabastecido desde fracciones lábiles (tanto orgánicas como inorgánicas) que están en equilibrio con formas menos disponibles (constituyentes primarios del suelo). El mayor grado de retención de fosfatos se presenta en suelos más arcillosos, pero el P es progresivamente liberado a formas lábiles y a la solución del suelo, es decir pasa a ser biodisponible. El abastecimiento de P del fertilizante más allá de un ciclo de producción es lo que se denomina “residualidad de la fertilización” y permite el manejo del P a nivel de secuencias de cultivos. La recuperación del P aplicado es relativamente baja, del orden del 20%, dependiendo del tipo de suelo y condiciones edáficas.

A diferencia de la retención de fosfatos en suelos, en la fijación de fosfatos, gran parte del P agregado como fertilizante pasa a formar estructuras químicas permanentes dentro de la fase sólida del suelo, quedando no disponible para los cultivos. Este mecanismo se presenta en suelos con mineralogía de arcillas predominantemente caolinítica (arcillas 1:1) o con elevados contenidos de óxidos y/o alofanos.



1.4.2.10. -MERCADO DE LOS FERTILIZANTES

La demanda mundial de fertilizantes está aumentando como consecuencia del incremento de la población mundial y el uso de prácticas modernas en agricultura en países desarrollados.



Países productores de rocas fosfáticas



Países productores de potasio



Producción de amoniaco a partir de nitrógeno

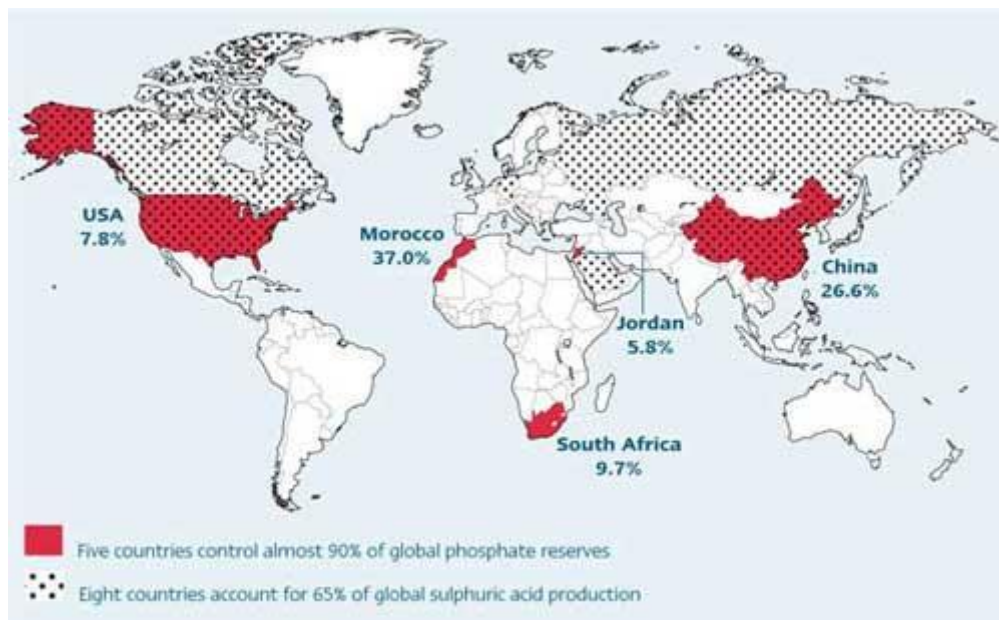
En la naturaleza el balance entre consumo y reposición de los elementos solubles en el suelo en cultivos comerciales se rompe al exigirse un ritmo de producción más acelerado por lo cual desde hace siglos el hombre ha utilizado residuos orgánicos vegetales y animales para subsanar ese déficit sin lograrlo satisfactoriamente. Recién en el año 1940 al determinarse que los vegetales se alimentan exclusivamente de ciertas sustancias minerales se comenzó a extraer esos minerales nutrientes a gran escala, comenzando a partir de allí la moderna industria de los abonos químicos de origen mineral.

Las reservas de fosfatos, la principal fuente de fósforo utilizado en fertilizantes, se están agotando y hay muy pocos informes han examinado las repercusiones de la disminución de los suministros en el mundo... pero en base a los datos que están disponibles, es evidente que las campanas de alarma deben empezar a sonar.

Con el constante crecimiento demográfico, la mejora de las dietas y la demanda mundial de alimentos y biocombustibles, la necesidad de fertilizantes de fosfato para mejorar la producción de cultivos no hará sino aumentar.



Con los años, el uso extravagante de fertilizantes ha provocado una demanda cada vez mayor de fósforo natural. A medida que estas disminución de reservas, el impacto será inmenso, incluyendo la producción agrícola cayendo, el aumento de precios de los alimentos, la creciente inseguridad alimentaria y la escalada de los retos sociales y económicos para que el mundo no está preparado. Dentro de unas décadas, el desarrollo económico global podría ser no sólo limitada por los suministros de petróleo, sino por la disponibilidad de fósforo.



Los 5 países que controlan casi el 90% de las reservas mundiales de fosfato y los 8 países que representan el 65% de la producción mundial de ácido sulfúrico.

Al ritmo actual de extracción, los EE.UU. agotaran sus reservas dentro 30 años, y las reservas mundiales comenzarán a utilizarse dentro de los 75 - 100 años.

El fósforo no puede fabricarse a partir de fuentes alternativas, pero puede ser recuperado y reutilizado. Algunos pueden ser recuperados de, los animales y los



residuos orgánicos, pero hasta ahora han sido muy pocas las iniciativas para promover el reciclaje.

La extracción de fosfato alcanzará su punto máximo alrededor del año 2030, después de lo cual la demanda de tiempo superior a la oferta.



1.4.3. -FÓSFORO (UTENSILIO)

Un fósforo, también denominado cerilla o cerillo es un utensilio fungible, consistente en una varilla con un extremo (la cabeza) recubierto por una sustancia, tal que al frotar la cabeza contra una superficie rugosa adecuada, ésta se enciende.

Los hay de dos tipos:

- *integral* (también llamados *lucifer*): encienden por fricción contra cualquier superficie rugosa. Contienen un compuesto de fósforo en la cabeza, de ahí su nombre.
- *de seguridad*: sólo encienden al frotarlos contra su propio rascador, que es donde en realidad se encuentra el fósforo. Se evita así el peligro de ignición espontánea por frotamiento entre los propios cerillos dentro de su caja.

El vástago puede ser de madera, papel o papel con cera; estos últimos son los que merecen propiamente el nombre de *cerilla*.

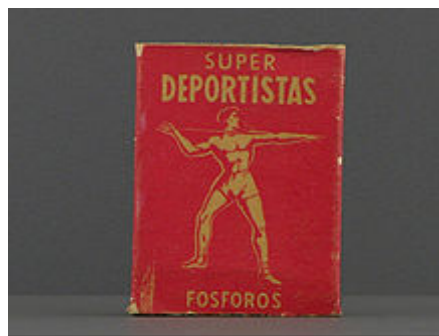
El principio de encendido es el añadir energía para generar una reacción de reducción-oxidación e inflamar un combustible.



1.4.3.1. -HISTORIA

Ya había un antecedente en Egipto en 3500 a. C., que eran palitos de madera de pino impregnados de azufre que se encendían al contacto con una chispa.

En China se utilizaban cerillas desde al menos el siglo X d.C. Eran palitos de madera de pino impregnados de azufre. Es probable que algún viajero las llevase consigo a Europa en la época de Marco Polo.



Super Deportistas. Cerrillo. Envase de cartón. Medios del s. XX. Colección MODO ©

Cerrillo "Super Deportistas" de México (Medianos s. XX)

En 1669 Hennig Brandt, un alquimista de Hamburgo aisló el elemento fósforo. En 1680 a Robert Boyle se le ocurrió revestir de fósforo un pequeño pedazo de papel, y poner azufre a la punta de una astilla de madera, que al ser frotada contra el papel, se encendía.

El primer fósforo moderno autocombustible lo inventó en 1805 K. Chancel, ayudante del profesor Louis Jacques Thénard, de París. La cabeza del fósforo era una mezcla de clorato de potasio, azufre, azúcar y goma. Se encendía sumergiendo el extremo con esta mezcla en un recipiente con ácido sulfúrico. Nunca llegó a popularizarse por su alto coste y peligrosidad.

En el año 1817, un químico francés demostró ante sus colegas de la universidad las propiedades de su “cerilla etérea”, que consistía en una tira de papel tratada con un



compuesto de fósforo, que ardía al ser expuesta al aire. El papel combustible se encerraba herméticamente en un tubo de cristal al vacío. Para encenderla, se rompía el cristal y, apresuradamente, se aprovechaba el fuego, puesto que la tira de papel sólo ardía unos instantes.

Un día del año 1827 John Walker se encontraba en su laboratorio intentando crear un nuevo explosivo. Al remover una mezcla de productos químicos con un palito, observó que en el extremo de éste se había secado una gota en forma de lágrima. Para eliminarla, la frotó contra el suelo del laboratorio, provocando que se encendiera. Así fue inventada la cerilla de fricción. Walker escribió luego que la gota en el extremo del palito contenía sulfuro de antimonio, clorato de potasio, goma y almidón. Las vendió bajo el nombre "congreves", en alusión al cohete congreve, pero el invento fue patentado por Samuel Jones, y comercializado con el nombre de "lucifers". Estos fósforos presentaban una serie de problemas: el olor era desagradable, la llama era inestable y la reacción inicial era sorprendentemente violenta, casi explosiva, en ocasiones lanzando chispas a considerable distancia.

En 1830, el químico francés Charles Sauria añadió fósforo blanco para quitar el mal olor. En cada caja de cerillas, que debía ser hermética, había suficiente fósforo blanco como para matar a una persona, y los obreros involucrados en su fabricación sufrieron necrosis de los huesos de la mandíbula (fosfonecrosis) y otras enfermedades óseas debidas a la inhalación de los vapores del fósforo blanco, lo que provocó una campaña para prohibir su fabricación.²

En 1836, el estudiante de química húngaro János Irinyi sustituyó el clorato de potasio por dióxido de plomo. Las cerillas así fabricadas ardían uniformemente; se las llamó cerillas silentes. Irinyi vendió su descubrimiento a István Römer, húngaro radicado en Viena, quien se hizo rico con la fabricación de estas nuevas cerillas.

Años después, debido a la toxicidad del fósforo blanco, se prohibió por ley el uso de éste en la fabricación de cerillas. Finlandia promulgó esta ley en 1872, Dinamarca en 1874, Suecia en 1879, Suiza en 1881 y Holanda en 1901. Gran Bretaña la llevó a cabo



en 1910, Estados Unidos aplicó un impuesto especial en 1913, India y Japón lo prohibieron en 1919 y China en 1925.

1.4.3.2. -FÓSFOROS DE SEGURIDAD

Los fósforos de seguridad fueron un invento del sueco Gustaf Erik Pasch en 1844 y fueron mejorados por John Edvard Lundström una década después. La seguridad viene dada por la sustitución del fósforo blanco por fósforo rojo, y por la separación de los ingredientes: la cabeza de la cerilla se compone de sulfuro de antimonio y clorato potásico, mientras que la superficie sobre la que se frota es de vidrio en polvo, cola y fósforo rojo. Las superficies de raspado suelen estar compuestas principalmente por sulfuro de fósforo, perclorato potásico, azufre y cola. En el momento de frotar ambas, debido al calor de la fricción parte del fósforo rojo se convierte en fósforo blanco, éste se prende, y comienza la combustión de la cerilla.

Algunas compañías productoras de fósforos fabrican fósforos cuyo largo duplica el largo de un fósforo normal. Estos fósforos, llamados "extragrandes", tienen la ventaja de que permiten prolongar el tiempo que un fósforo puede permanecer encendido y reducen el riesgo de sufrir quemaduras leves o roces en los dedos para personas que están aprendiendo a usar fósforos, ya que, al ser muy largos, distancian los dedos del lugar donde se produce la combustión del fósforo en sí.



1.4.3.3. -FÓSFOROS INTEGRALES

Dos químicos franceses, Savene y Cahen, patentaron en 1898 una cerilla a base de sesquisulfuro de fósforo, en lugar de fósforo puro, y clorato de potasio. Ésta era capaz de encenderse frotándola contra cualquier superficie rugosa y no era explosiva ni tóxica. En 1899, Albright y Wilson desarrollaron un método seguro de fabricar cantidades industriales de sesquisulfuro de fósforo, y empezaron a venderlo a los grandes fabricantes.



1.4.4. -FÓSFORO BLANCO

El fósforo blanco es un alótropo común del elemento químico fósforo que ha tenido un uso militar extenso como agente incendiario, agente para crear pantallas de humo y como componente flamígero antipersonal capaz de causar quemaduras graves. Es denominada como un arma química por muchas personas y organizaciones. En jerga militar se le refiere como "WP" (White phosphorus); y durante la Guerra de Vietnam tenía como alias "Willy Pete" o "Willy Peter".



1.4.4.1. -APLICACIONES



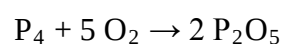
El USS Alabama recibiendo un impacto de una bomba de fósforo durante un ejercicio de prueba liderado por el general Billy Mitchell, en septiembre de 1921.

1.4.4.1.1. -AGENTE PARA PANTALLAS DE HUMO

A relación de su peso, el fósforo blanco es el agente más efectivo para crear pantallas de humo por dos razones:

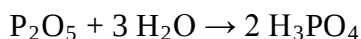
1. Absorbe la mayoría del área de apantallamiento de la atmósfera circundante.
2. Las partículas de humo son como un aerosol, una niebla de gotitas líquidas que están cerca del tamaño ideal para la difusión de Mie de la luz visible. Este efecto ha sido comparado con el de un vidrio translúcido: la nube de humo no oculta la imagen sino que la distorsiona. También absorbe la radiación infrarroja.

Cuando el fósforo arde en el aire, al principio forma óxido de fósforo :





Sin embargo, el óxido de fósforo es extremadamente higroscópico y con rapidez absorbe incluso las menores trazas de humedad para formar gotas líquidas de ácido fosfórico:



(También forma polifosfatos como el ácido pirofosfórico, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$)

Mientras que al átomo del fósforo tiene una masa atómica de 31, una molécula de ácido fosfórico tiene una masa molecular de 98, la nube tiene un 68% de la masa gracias a la atmósfera. En otras palabras, se obtiene 3,2 kg de humo por cada kilogramo de fósforo blanco utilizado. Sin embargo puede continuar absorbiendo más agua; tanto el ácido fosfórico como varios ácidos polifosfóricos son higroscópicos. Pasando el tiempo, las diminutas gotas continuarán absorbiendo más agua, aumentando su tamaño y más diluidas, hasta alcanzar el equilibrio con la presión del vapor de agua local. En la práctica las gotitas consiguen un rango de tamaños muy conveniente para dispersar la luz visible, que luego empezará a dispersarse debido al viento u otros factores.

Debido a la gran eficacia del humo de fósforo blanco, satisface particularmente para usos donde el peso es una gran restricción, como granadas de mano y bombas de mortero. Una ventaja adicional para las granadas de humo -que probablemente son utilizadas para emergencias- es que las nubes de humo se forman en una fracción de segundo.

Como el fósforo blanco es también pirofórico (una sustancia que arde espontáneamente), la mayoría de las municiones de este tipo tiene un mecanismo simple para abrir la cápsula y esparcir el fósforo al aire, donde arden dejando un rastro de humo espeso. El aspecto de esta formación nebulosa es fácil de reconocer: se ve una lluvia de partículas ardiendo esparciéndose, seguidas muy de cerca por las trazas de humo blanco, que rápidamente se unen en una nube de blanco puro.

Ya que el humo del fósforo blanco se forma de una combustión a altas temperaturas, los gases de la nube son calientes y tienden a elevarse. En consecuencia, la pantalla de



humo se levanta del terreno y forma "pilares" aéreos de humo que tiene poco uso de apantallamiento. Algunos países han comenzado a utilizar fósforo rojo como sustituto.

El fósforo rojo, "RP", arde a una temperatura menor que el fósforo blanco y elimina algunas desventajas, pero ofrece la misma eficacia por peso. El símbolo del fósforo blanco es P4.



1.4.4.2. -EFECTOS EN LOS SERES HUMANOS

1.4.4.2.1. -EFECTOS A LA EXPOSICIÓN DE ARMAS DE FÓSFORO BLANCO

Las partículas incandescentes del fósforo blanco que se producen en la explosión inicial pueden producir profundas, extensas y dolorosas quemaduras de segundo y tercer grado. Las quemaduras de fósforo conllevan una mortalidad mayor que otros tipos de quemaduras debido a la absorción del fósforo en el cuerpo a través de las áreas alcanzadas, resultando dañados órganos internos como el corazón, el hígado o el riñón.³

Estas armas son particularmente peligrosas al personal debido a que el fósforo blanco arde a menos que esté privado de oxígeno o hasta que este se consume totalmente, en algunos casos llegando la quemadura hasta el hueso. En algunos casos, las quemaduras pueden ser limitadas a las áreas donde la piel está expuesta porque las partículas del fósforo no arden completamente a través de la ropa. De acuerdo con GlobalSecurity.org, citado por The Guardian, "El fósforo blanco provoca daños por quemadura química dolorosas".

1.4.4.2.2. -EXPOSICIÓN E INHALACIÓN DEL HUMO

La combustión del fósforo blanco crea una nube blanca densa y caliente. La mayoría de las formas de humo no son peligrosas en las concentraciones producidas por algún tipo de estas armas. Sin embargo, la exposición a concentraciones altas de cualquier tipo durante un período largo (especialmente si es cerca de la fuente de emisión) tiene el potencial de causar daño e incluso la muerte.

El humo del fósforo blanco irrita los ojos y nariz en concentraciones moderadas. Con exposiciones largas, una tos crónica puede ocurrir. Sin embargo, no hay muertes registradas por los efectos del humo únicamente durante operaciones de combate y hasta la fecha no hay muertes confirmadas por el resultado de la exposición al humo del fósforo blanco.

La Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades ha fijado el nivel de riesgo mínimo (MRL) para el humo de fósforo blanco en 0,02 mg/m³, la misma que los



humos de fuel-oil. Como contraste, el gas mostaza es 30 veces más potente: 0,0007 mg/m³.

1.4.4.2.3. -INGESTIÓN ORAL

La dosis letal aceptada cuando el fósforo blanco es ingerido es de 1 mg/kg, aunque la ingestión de 15 mg puede ya ser mortal. También puede dañar el hígado, el corazón o el riñón.



1.4.4.3. -ESTADO DE CONTROL DE LAS ARMAS

El uso del fósforo blanco contra objetivo militares (fuera de áreas de civiles) no está específicamente prohibido por ningún tratado internacional. Sin embargo, hay un debate de si debería ser considerado el fósforo blanco como una arma química y por tanto ser ilegal por la Convención sobre Armas Químicas (CWC, en inglés) que tuvo lugar en abril de 1997.

La Convención significaba la prohibición de arma que fueran "dependientes del uso de propiedades tóxicas de sustancias químicas como un método de combate" (Artículo II, Definiciones, 9). La Convención define una "sustancia química tóxica" como aquella que "a través de su acción química en los procesos vitales pueda causar la muerte, la incapacitación temporal o permanente para seres humanos o animales". El fósforo blanco no ha sido incluido en el anexo original de la CWC que listaba las sustancias químicas bajo esta definición para propósitos de verificación.

Sin embargo, en 2005, entrevistado por la RAI (Radio Audizioni Italiane), Peter Kaiser, portavoz de la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPCW), organización cooperante con la ONU, que supervisa la CWC, cuestionó públicamente si esta arma debía entrar dentro de las estipulaciones de la convención: "No está prohibida por la CWC si es usada dentro de un contexto de una aplicación militar que no requiere o no tiene intención de usar las propiedades tóxicas del fósforo blanco. El fósforo blanco es utilizado generalmente para producir humo, para movimientos de camuflaje. Si este es el propósito por el cual el fósforo blanco ha sido usado, entonces está considerado uso legítimo dentro de la Convención. Si, por otro lado, las propiedades tóxicas del fósforo blanco... se piensan específicamente para ser utilizadas como arma, esto está por supuesto prohibido, porque el modo de que la Convención se estructura o la manera de que sea de hecho aplicada, cualquier sustancia química utilizada contra humanos o animales que cause daño o la muerte a través de sus propiedades tóxicas de la sustancia son consideradas armas químicas."

Algunos opositores han discutido que debido a los efectos incendiarios, el fósforo blanco está potencialmente restringido por la Convención de Armas Convencionales de



1980 (Protocolo III), el cual prohíbe el uso de armas incendiarias liberadas por aire contra poblaciones civiles o ataques incendiarios indiscriminados contra fuerzas militares localizadas junto a civiles. Sin embargo, este protocolo también excluye específicamente las armas cuyos efectos incendiarios sean secundarios, como las granadas de humo. Esto ha sido tomado a menudo como la exclusión del fósforo blanco dentro de este protocolo. En cualquier caso, el tercer protocolo no ha sido firmado por Estados Unidos.

1.4.4.3.1. -REGULACIONES MILITARES

De acuerdo con el manual de campo del Ejército de los Estados Unidos en el *Rule of Land Warfare* (Reglas de la guerra terrestre), "El uso de armas que empleen fuego, como munición trazadora (consiste en balas normales a las que se ha agregado alguna sustancia, como fósforo o magnesio, que brille en la parte trasera para ver hacia donde se dirige), lanzallamas, napalm (gasolina gelatinosa) y otros agentes incendiarios, contra objetivos que requiera su uso no es una violación de las leyes internacionales". Sin embargo, hay algún tipo de conflicto con las normas dadas por el *US Command and General Staff College* de Fort Leavenworth. En el "ST 100-3 Battle Book", un texto para estudiantes, indica que "está contra la ley de la guerra terrestre el uso de fósforo blanco contra objetivos personales". Este parece estar en desacuerdo con otros manuales de campo que discuten el uso del fósforo blanco contra personas. Un blog ha divulgado que el cuerpo de Marine ha publicado recientemente contra el uso de "armas de llamas" (incluyendo el fósforo blanco).

1.4.4.3.2. -HISTORIA

Se cree que el primer uso del fósforo blanco fue en el siglo XIX, en una disolución de fósforo con disulfuro de carbono. Cuando el disulfuro se había evaporado, el fósforo blanco ardía, y probablemente también quemaba el disulfuro, altamente inflamable, creando humos. Esta mezcla era conocida como "fuego feniano" y se afirma que fue utilizada en la Primera Guerra Mundial.



El ejército británico introdujo las primeras granadas de fósforo blanco a finales de 1916. En la Segunda Guerra Mundial, bombas, cohetes y granadas de fósforo blanco fueron utilizadas intensivamente por fuerzas estadounidenses, de la Commonwealth, y en menor medida por fuerzas japonesas, tanto para crear pantallas de humo como contra objetivos humanos.

Durante la campaña de Normandía, el 20% de las cargas de los morteros de 81 mm eran de fósforo blanco. Al menos hay cinco citaciones a la Medalla de Honor donde se menciona el uso de granadas de fósforo para limpiar posiciones enemigas. Durante la liberación de Cherburgo en 1944, el batallón de morteros lanzó 11.899 proyectiles de fósforo blanco a la ciudad.

Las municiones de fósforo blanco han sido utilizadas en otros conflictos como la Guerra de Corea y la de Vietnam. También ha sido empleado por Marruecos contra el pueblo saharauí. Según GlobalSecurity.org, "en diciembre de 1994, en la batalla de Grozny en Chechenia, entre una cuarta y quinta parte de los proyectiles por la artillería o morteros rusos era de humo o de fósforo blanco."

En el conflicto árabe-israelí, el ejército israelí ha sido acusado de utilizar proyectiles de fósforo blanco sobre poblaciones palestinas, lo cual ha lisiado a niños.

1.4.4.3.3. -USO EN IRAQ

Hay al menos cuatro casos en los cuales el fósforo blanco se ha utilizado según informes, contra personas en Irak:

- En marzo de 1988. De acuerdo con un antiguo artículo de la ANSA, citado por el documental de la RAI, el fósforo blanco fue usado por Saddam Hussein durante el ataque químico a Halabja: "En la mañana del 16 de marzo de 1988, las fuerzas aéreas iraquíes bombardearon varias veces la ciudad con un cocktail químico de agentes nerviosos: Gas mostaza, tabun, VX, napalm y fósforo blanco." El uso de fósforo blanco no ha sido mencionado anteriormente en otros informes de Halabja.



- En febrero de 1991. Los militares iraquíes se acusaron a sí mismos de usar fósforo blanco contra combatientes como civiles.
- En abril de 2004. En el primer gran asalto a Faluya por el ejército estadounidense tras la caída del gobierno de Hussein, Darrin Morteson del *North County Times* de California informó que se usó fósforo blanco como arma. El periódico londinense *The Guardian* junto con otros informó que los militares estadounidenses rehusaron permitir a muchos civiles dejar la ciudad antes del asalto.
- En noviembre de 2004. Durante la operación *Phantom Fury* (el segundo asalto importante a Faluya), periodistas del Washington Post unidos a la fuerza 2-2, del equipo 7, escribieron el 9 de noviembre de 2004 que "algunos cañones de artillería realizaron disparos con fósforo blanco que crearon una pantalla de fuego que no podía apagarse con agua".

Esta afirmación fue confirmada por miembros del equipo militar en la edición de marzo-abril de 2005 del *Field Artillery*, una revista publicada por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, en el artículo "TF 2-2 in FSE AAR: Indirect Fires in the Battle for Fallujah".

En Faluya: La Masacre Escondida, un documental de Sigfrido Ranucci, emitido por RaiNews24 de Italia el 8 de noviembre de 2005, afirmaba que los soldados estadounidenses mataban a civiles en Faluya utilizando fósforo blanco y MK-77 (una versión moderna del napalm). El documental incluía numerosas fotografías de cuerpos afirmando que sus heridas mortales estaban causadas por el fósforo blanco. También se citaba a Giuliana Sgrena, que había estado en la ciudad, como un testimonio.

El 14 de noviembre de 2005, *The Guardian* informó que entre 30.000 y 50.000 civiles continuaban en la ciudad cuando el asalto comenzó.

El 15 de noviembre de 2005, el portavoz del Departamento de Defensa, el Teniente Coronel Barry Venable confirmó a la BBC que el fósforo blanco había sido utilizado como arma antipersonal en Faluya.



El 30 de noviembre de 2005, el General Peter Pace justificó el uso del fósforo blanco, declarando que las municiones de fósforo blanco eran una "herramienta legítima del ejército", utilizados para iluminar objetivos y crear pantallas de humo, añadiendo: "No es una arma química. Es una incendiaria. Y está dentro de la ley de la guerra para utilizar estas armas como han sido utilizadas, para marcar y crear empantallamiento". Pace apuntó que las armas convencionales pueden ser más peligrosas que las no convencionales: "Una bala va a través de la piel incluso más rápido que el fósforo blanco".



1.5. -PANORAMA DE

MERCADO DE

FOSFATOS



1.5.1. -PANORAMA EN EL MUNDO

Roca fosfórica es un nombre colectivo utilizado para describir todos los minerales presentes en la naturaleza que contienen una alta concentración de fosfatos. El término se refiere tanto a los minerales fosfatados no beneficiados como a los productos concentrados. Los depósitos sedimentarios han aportado cerca del 80-90 por ciento de la producción mundial durante los últimos 10 a.os. Ocurren en formaciones de edad geológica muy diferente, presentando una gama muy amplia de composiciones químicas y de formas físicas: frecuentemente se presentan como estratos gruesos relativamente horizontales o pueden encontrarse en la base de las zonas de deposición relativamente superficiales. Los depósitos que cuentan con la mayor producción mundial de roca fósforica se hallan en Marruecos y otros países de África, en los Estados Unidos de América, en el Cercano Oriente y en China. La mayor parte de los depósitos sedimentarios contienen la fluorapatita carbonatada (o carbonatoapatita) llamada francolita (McConnell, 1938). Las francolitas que poseen una elevada sustitución isomórfica de fosfato por carbonato, son las más altamente reactivas y las más apropiadas para la aplicación directa como fertilizantes o enmiendas del suelo-

Los depósitos ígneos han aportado de un 10 al 20 por ciento de la producción mundial en los últimos 10 a.os. Estos son explotados en Brasil, Canadá, la Federación Rusa, Finlandia, Sudáfrica y Zimbabwe pero también ocurren en Malawi, Sri Lanka y Uganda y en muchos otros lugares. Estos depósitos comúnmente contienen variedades de fluorapatita que son relativamente poco reactivas y, por lo tanto, son menos adecuadas para la aplicación directa. Los productos de la alteración de las apatitas ígneas y sedimentarias (minerales fosfatados de hierro y aluminio) en su estado natural no son generalmente útiles para la aplicación directa en la agricultura.

El fosfato es el componente de interés agronómico en estas rocas. Cuanto más alto es el contenido de fosfato (P_2O_5) en forma de apatita, mayor es el potencial económico de la roca. Los factores tales como carbonatos libres, hierro, aluminio, magnesio y cloruros son importantes para la conversión química de las rocas fosfóricas en fertilizantes, pero



los mismos a menudo no tienen utilidad cuando la roca va a ser utilizada para la aplicación directa

A nivel mundial, existe poca información sobre la producción y el consumo de la roca fosfórica para la aplicación directa y a menudo es difícil obtener y evaluar datos confiables. Muchos países no la clasifican como fertilizante y las estadísticas de consumo no la incluyen. Las informaciones deben ser obtenidas a través de canales informales y su calidad puede ser altamente variable. Puede ser necesario estimar la roca fosfórica para aplicación directa por diferencia sustrayendo la cantidad de la roca fosfórica utilizada para otros propósitos de la cantidad total importada o utilizada en un país. Los datos sobre la roca fosfórica para aplicación directa presentados en este capítulo son indicativos más bien que datos reales.

Producción mundial de roca fosfórica, 1999

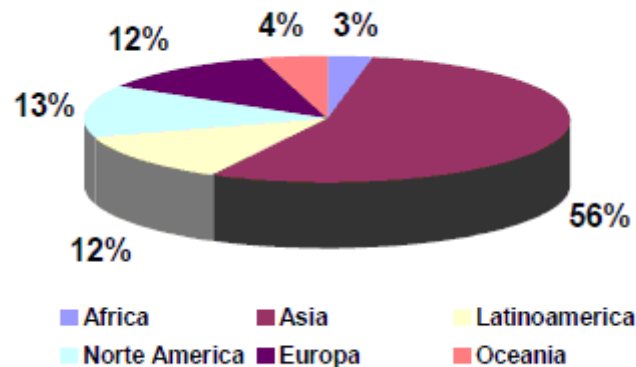
	Producción (1 000 toneladas)	Total mundial %
Estados Unidos de América	40 867	28,1
China	30 754	21,1
Marruecos y Sahara Occidental	21 986	15,1
Federación Rusa	11 219	7,7
Subtotal	104 826	72,0
Túnez	8 006	5,5
Jordania	6 014	4,1
Brasil	4 301	2,9
Israel	4 128	2,8
Sudáfrica	2 941	2,0
Siria	2 084	1,4
Senegal	1 879	1,3
Togo	1 715	1,2
Subtotal	135 894	93,4
India	1 623	1,1
Argelia	1 093	0,8
Egipto	1 018	0,7
México	955	0,7
Kazakistán	900	0,6
Finlandia	734	0,5
Vietnam	710	0,5
Islas Christmas	683	0,5
Islas Naurú	604	0,4
Irak	415	0,3
Venezuela	366	0,3
Canadá	350	0,3
Australia	145	0,1
Uzbekistán	139	<0,1
Zimbabwe	124	<0,1
Corea del Norte	70	<0,1
Sri Lanka	30	<0,1
Perú	15	<0,1
Colombia	4	<0,1
Total Mundial	145 472	100,0



La producción mundial de concentrado de roca fosfática en el año 2003 fue de aproximadamente 136 millones de toneladas con un pequeño crecimiento del 8.5% respecto al 2002. El líder mundial en términos de producción es Estados Unidos con el 24.1% seguido por Marruecos y China con el 17.4% cada uno, Rusia con el 8%, Túnez el 5.6% y Jordania con el 5.2%, siendo responsables del 77.7% de todo el fosfato producido en el mundo. En Latinoamérica, Brasil ocupa un lugar relevante a nivel mundial, ya que se posiciona como séptimo productor de fosfatos con 5.8 millones de toneladas, participando con el 4.2% del total ofertado. En términos de reservas fosfáticas, Marruecos es el líder mundial con 21 billones de toneladas, seguido por China (13 billones de toneladas), Estados Unidos (4 billones), República de África del Sur (2.5 billones) y Jordania (1.7 billones), representando en conjunto el 83.4% del patrimonio mundial.

Alrededor del 80% se utiliza en la industria de fertilizantes. La producción mundial de fertilizantes fosfatados es de aproximadamente 76 millones de toneladas, distribuidos de la siguiente manera: DAP 33.93%, MAP 17.78%, TSP 7.44% y ácido fosfórico 40.84%. En términos de P_2O_5 la oferta total, en el 2003, fue de 51 millones de toneladas. Si se considera que el rol de los fertilizantes está ligado directamente al desarrollo de la agricultura y está a su vez con el crecimiento de la población y sus necesidades de alimentación, se puede suponer que la que la producción futura de fosfatos aumentará.

Asia, es la principal región consumidora de fertilizantes fosfatados, seguida por Norteamérica, Latinoamérica, Europa, Oceanía y África.



Consumo mundial de fertilizantes fosfatados por continentes (2002)

América del Norte es la principal región productora de fertilizantes fosfatados, localizándose algunas de las principales empresas a nivel internacional como IMC Global Inc. que absorbe por ejemplo el 30% del mercado de América del Norte, con 8.5 millones de toneladas año; PCS que produce 700.000 t/año de fosfato diamónico; AGRIMUM INC, con 375.000 toneladas de ácido fosfórico; JR SIMPLOT con 1.7 millones de toneladas año de roca fosfórica, además de CARGILL FERTILISER INC.; CF INDUSTRIES; MISSISSIPPI PHOSPHATES CORP.; PHOSCHEM.

Appleton (2001) destaca que la roca fosfática es un commodity de bajo precio, con gran volumen y alto costo para ser transportada, por lo tanto su potencial económico depende en gran medida de su localización en relación con el mercado local e internacional. La gran mayoría de los depósitos fosfáticos comercialmente explotados se localizan cerca de las costas y en países que cuentan con puertos de aguas profundas. Si la infraestructura de transporte es poco desarrollada y especialmente si no existen medios ferroviarios o mineraloductos para transportar las rocas fosfáticas al hacer el análisis costo beneficio resultará más económico importar fertilizantes como DAP que desarrollar una industria local. Los recursos de rocas fosfáticas situados en lugares remotos a grandes distancias de los mercados o sin transporte adecuado no resultan factibles económicamente para competir en un mercado internacional, probablemente

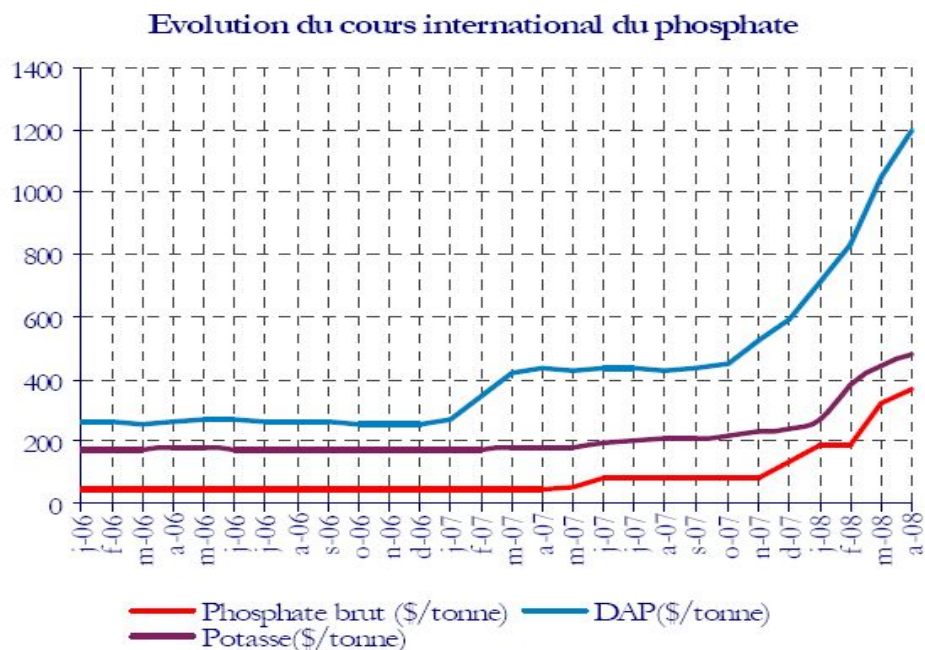


puedan cubrir un mercado local o quizás regional. Por el otro lado, donde existen áreas agrícolas distantes de puertos, especialmente en aquellos países sin salida al mar, la resultante costo beneficio inclina la balanza hacia la utilización de recursos de rocas fosfáticas locales para aplicación directa. Los altos costos del transporte se deprecian si la roca fosfática puede convertirse en un producto de alto valor agregado.

Durante muchos años, el mercado internacional valoraba en unos 50-60 dólares la tonelada de roca fosfórica. A espaldas de un rápido aumento de la demanda mundial, el valor de la misma tonelada ya se acerca al espectacular valor de los 400 dólares.

En mayo de 2008, el banco central de Marruecos, Bank Al-Maghrib, emitió un análisis de los precios internacionales de fosfato y su efecto sobre la balanza comercial de Marruecos en su informe sobre la situación económica, monetaria y financiera del Reino de Marruecos en el primer trimestre.

En el gráfico, la línea roja indica el fosfato bruto, que indica la roca fosfórica no procesada. Este tipo de fosfato es el que se exportan de los territorios ocupados del Sáhara Occidental.



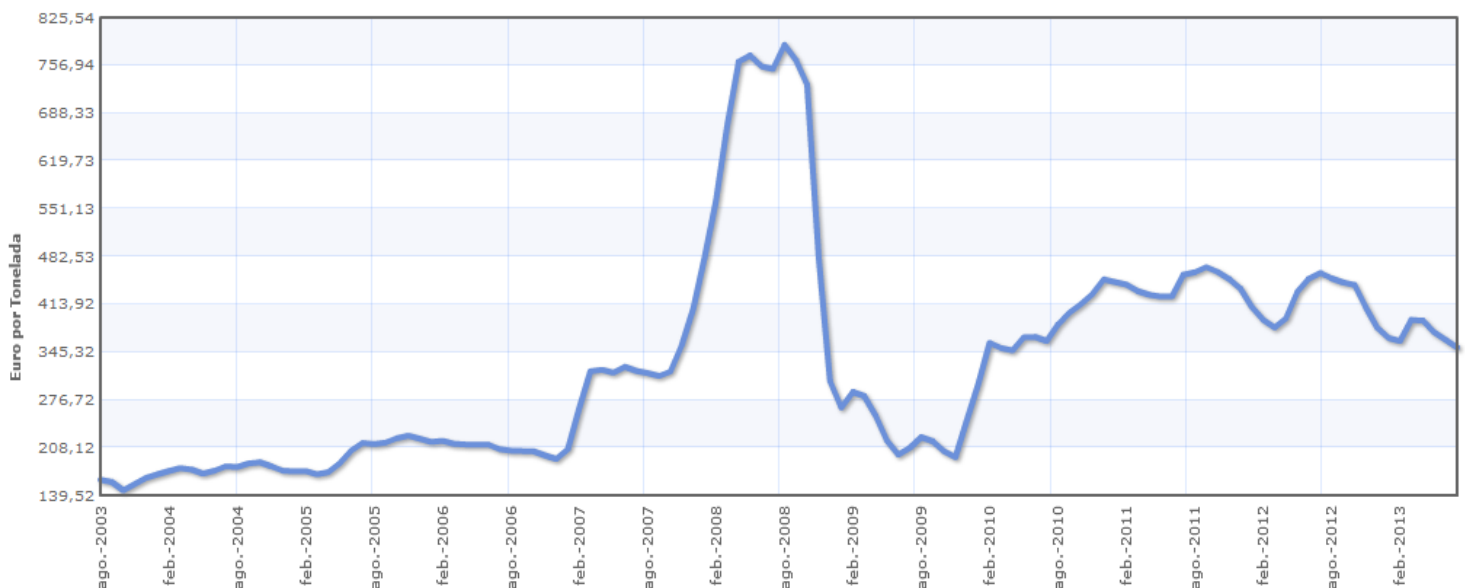


Esto implica que, con los actuales precios de fosfato, el Gobierno marroquí gana alrededor de 1,2 millones de dólares anuales con la industria ilegal en el territorio ocupado. Los últimos 3 años, la producción de la planta en Bou-Craa ha sido de alrededor de 3 millones de toneladas.

Si se aplican los precios actuales del fosfato al volumen total de fosfatos exportados por Marruecos de los territorios ocupados del Sáhara Occidental desde la ocupación en 1975 (estimando una producción media anual de 2 millones de toneladas) la cantidad podría ascender a alrededor de 25,6 millones de dólares de pérdida para el pueblo saharaui.

El informe arroja que el total de las exportaciones del Reino de Marruecos durante el primer trimestre de 2008 se ha incrementado en un 7,7%. El aumento de las exportaciones es casi exclusivamente debido al crecimiento de 42,5% (unos 2 billones de dirhams) de las ventas de fosfatos y derivados.

En la siguiente imagen se muestra el precio del fosfato diamónico desde 2003 hasta 2013, en euros por tonelada.





1.5.2. -PANORAMA EN ESPAÑA

1.5.2.1. -PRODUCCIÓN NACIONAL

Anteriormente a 1956, hubo explotaciones de fosfatos en Logrosan y Aldea Moret, en la provincia de Cáceres, aunque a niveles muy modestos. Posteriormente, no existió producción nacional de fosfatos hasta 1972, cuando se inicia la explotación del yacimiento de Bucra, en el Sahara occidental, año en el que se extraen en territorio colonial 15.000 toneladas.

En 1973 se produjeron en dicho territorio casi 700.000 toneladas. En 1974 la producción alcanzó 2,3 millones de toneladas (casi el 2 por 100 de la mundial), lo que supuso un autoabastecimiento del 56 por 100. En 1975 la producción se elevó a 2,7 millones de toneladas, lo cual permitió atender al 67 por 100 de nuestras necesidades.

A finales de dicho año tuvo lugar la reestructuración de la empresa, entrando a formar parte de la misma la Office Cherifien des Phosphates (O.C.P.) marroquí, con un 65 por 100 del capital, y el Instituto nacional de Industria con el 35 por 100 restante.

En la actualidad no existe, por tanto, producción nacional de fosfato.



1.5.2.2. -RESERVAS Y RECURSOS NACIONALES

Las únicas reservas posibles de fosfatos en España están relacionadas con el descubrimiento de los indicios de Fontanajero, en Ciudad Real, cuya cubicación aun no esta ultimada.

La investigación de este posible yacimiento se ha ampliado recientemente a la Reserva Hesperica, mediante un consorcio entre Minas de Almaden y Arrayanes, el Instituto Tecnológico Geominero de España y Encasur.

Aun cuando es prematuro pronunciarse sobre el potencial minero de Fontanajero y de la Reserva Hesperica, parece que dichos indicios pueden ser interesantes.



1.5.2.3. -COMERCIO EXTERIOR ESPAÑOL

Nuestra dependencia del exterior en el suministro de fosfato es total y muy cuantiosa. Durante 1987 se importaron 2.832.605 toneladas valoradas en uno 15.672, lo que supuso un importante descenso del 23,5 por 100 en peso y del 33,6 por 100 en valor respecto al año precedente. El origen de dichas importaciones, en terminos de valor, fue el siguiente:

	%
Marruecos	72,8
Togo	10,4
Senegal	6,1
Estados Unidos	4,2
Sudáfrica	2,6
Siria	1,8
Argelia	1,0
Israel	0,9
Francia	
Francia, Alemania, R. F., Reino Unido, Portugal	0,2
TOTAL	100,0

Importación de suministros de fosfatos para España

Se exportaron 200 toneladas por un exiguo valor de 0,4 MP, con destino a Portugal.



2. -DESARROLLO



2.1. -EXPLOTACIÓN Y REHABILITACIÓN



Las primeras explotaciones en pequeña escala en Inglaterra, Francia, España datan 1840. Años más (1860) tarde se conocen datos de Noruega y Alemania. Entre 1863-1895 la roca extraída en Ontario y Quebec se llevaba a Inglaterra para su procesamiento.



Recreación de una explotación de fosfatos del siglo XIX

Para analizar un ejemplo completo se eligieron los yacimientos de fosfatos de la Florida (USA). El descubrimiento se hizo en 1881 durante la prospección de gravas fluviales (placeres) en busca de oro.

Actualmente se explota la "matrix" de la unidad Bone Valley Fm (Plioceno) con un espesor promedio de 36m.

Simultáneamente con la explotación se hacen tareas de perforación para encontrar nuevas áreas productivas. La ley de fósforo promedio es entre 15 y 18%.





La explotación de yacimientos fosfáticos puede ser a cielo abierto (open pit) o subterránea.

Más del 75% de la roca fosfática económicamente explotable de origen sedimentario se extrae a cielo abierto empleando desde métodos manuales hasta los de alta tecnología de extracción. En general, los costos de la explotación a cielo abierto son muchos más bajos que los de la explotación subterránea, estimándose una relación de 1 a 2-3 veces.

La explotación a cielo abierto implica la removilización de gran cantidad de material (la sobrecarga, la mena y el mineral de mena) lo que conduce también en la mayoría de los casos al consumo de grandes cantidades de agua.

Las rocas fosfáticas pueden beneficiarse por varios métodos, en general se utilizan métodos combinados tales como separación granulométrica, flotación y en algunos casos calcinación.

Existen una serie de parámetros a tomar en cuenta en el momento de la decisión:

a) La proporción, distribución, tamaño de granos y características texturales tienen importantes implicaciones para la extracción y beneficio de un depósito. En los depósitos fosfáticos que contienen cristales bien definidos de apatita o granos de apatita que pueden separarse fácilmente de otros cristales o del cemento, se tiene en general un buen grado de liberación y una buena recuperación. Por el otro lado, si existen intercrecimientos cristalinos o matrix fosfáticas microcristalinas con gran proporción de ganga o cementos que requieren tamizados muy finos, el resultado es la pérdida de fosfatos y el consecuente bajo grado de recuperación.

b) El contenido de fosfato en los depósitos explotables varía entre más del 40% a menos del 5%. Es esencial el proceso de remoción de impurezas sobre la muestra total para beneficiar y por lo tanto aumentar la ley del concentrado. El proceso de beneficio generalmente permite una concentración cercana al 1,5x llegando, en algunos yacimientos a una concentración mayor (hasta 9x). Luego de la concentración de la roca



fosfática varían su contenido entre 26% hasta 34% de P_2O_5 y alcanza en algunos casos al 42%.

c) La relación de los constituyentes químicos debe ser tomada en cuenta a la hora de decidir el proceso de beneficio para ser utilizado como fertilizante, (Unido, 1998). Uno de los criterios más usado para hacer la evaluación mineralo-metalúrgica es la relación CaO/P_2O_5 .

En el caso de apatitas puras de origen ígneo esa relación es 1,32 en tanto que en la francolita el rango varía entre 1,66 a 1,32. Esta relación está influenciada dentro de la roca fosfática por la presencia de otros minerales fosfáticos y no fosfáticos. Por ejemplo la presencia de fosfatos de calcio-aluminio, aluminio o hierro decrecen la relación. CaO/P_2O_5 , por el otro lado la sustitución de carbonato por fosfato aumenta la relación.

Muchos cálculos para la fabricación de fertilizantes están basados en los niveles de CaO y/o CaO/P_2O_5 . El consumo de ácidos en el proceso de ataque está relacionado a su vez con el contenido de CaO .

d) Las características de las menas de un depósito son cruciales en la evaluación del yacimiento. Por ejemplo si la relación CaO/P_2O_5 es baja y los contenidos de Fe_2O_3 y Al_2O_3 son elevadas sugiere que existen zonas desfavorables dentro de la mena y esto permite plantear guías de exploración. Las áreas desfavorables deben ser descartadas para realizar los cálculos de recursos/ reservas (UNIDO, 1998).

e) En los depósitos de baja ley el consumo de energía y reactivos químicos son mayores por tonelada de fosfatos producidos, consecuentemente el costo de recuperación y beneficio aumenta significativamente.

2.1.1. -EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO

La explotación a cielo abierto puede ser de diferentes maneras desde métodos manuales (pico y pala) hasta grandes operaciones mecanizadas.

Por ejemplo en el yacimiento de Riecito, Venezuela se utilizan tractores, palas cargadoras (5 m^3) para sacar la sobrecarga y explotar cerca de 100.000 t /año de roca fosfática de los niveles con espesores mayores a 20 metros. El material extraído luego es transportado en grandes camiones (35 t) hasta la planta de concentración donde se produce ácido fosfórico.

A modo de síntesis y ejemplo se enuncian los pasos a seguir en una explotación hasta la remediación en un área de yacimientos fosfáticos. Estos pasos deben respetarse en la mayoría de los casos. La foto muestra un esquema de explotación tratamiento basado en IMC, Florida.



Esquema de explotación y tratamiento de rocas fosfáticas



2.1.1.1. -LIMPIEZA DEL ÁREA

Esta tarea consiste en el retiro de plantas y otros vegetales del sector a explotar y la remoción de la sobrecarga (nivel de arena, limo y arcilla por encima del horizonte de fosfato). Este material estéril se apila en escombreras exteriores a la propia “fosa” para ser utilizado post-explotación (Remediación).

2.1.1.2. -EXPLOTACIÓN DEL HORIZONTE FOSFÁTICO

Luego de ser removida la sobrecarga se extrae el horizonte fosfático (*matrix*). Se denomina *matrix* a la mezcla inconsolidada de pellets fosfáticos, gravas, calizas fosfatizadas, cuarzo, limo, arcilla u otros componentes líticos o fósiles. En el caso de Florida, E.E.U.U. se utilizan dragalinas con una capacidad de 2000 t/hora para la extracción, lo que lleva a 50.000 t/día y unas 12.000.000 de t/año.

Generalmente se trabajan 11 meses y uno de descanso para mantenimiento. La dragalina tiene un peso de 65 t con un brazo de 70 m y 50 t de capacidad de balde. La recuperación promedio es de 10.500 t/ha.



2.1.1.3. -ARRANQUE HIDRÁULICO

Se hace con mangueras a alta presión formando así una pulpa (*slurry*) compuesta por agua más material, la cual es llevada por cañerías a la primera planta. El material removido y llevado a los "lavaderos" es pasado por clasificadores donde se separa de la *matrix* los clastos y las arcillas. Las arcillas es uno de los grandes problemas asociados al proceso explotación/beneficio, que por supuestos se minimiza si el contenido de arcillas de los depósitos es insignificante. Las arcillas como material muy fino tienen una gran superficie areal lo que hace que sus características de decantación sean muy pobres. Sin tratamiento pueden requerir décadas para decantar solo entre el 5 y el 20% del total. En cambio, si se utilizan métodos de decantación, por ejemplo en lagunas artificiales este porcentaje puede alcanzar entre el 40 y 60% de la fracción arcillosa del área minera.

En la actualidad se utilizan en algunos países, técnicas de deshidratación utilizando floclulantes y colectores coagulantes que produce una decantación del 25% del contenido sólido en pocos minutos (Mc Farlin, 1992 en Jarvis *et al*, 1994).

2.1.1.4. -TRATAMIENTO

El material separado se trata en la mayoría de los casos por el método de flotación con aminoácidos llegando al producto final concentrado.



2.1.1.5. -REHABILITACIÓN

Una vez que termina la explotación, equipos de ingenieros, biólogos, ecólogos y geólogos comienzan la rehabilitación, es decir volver a las condiciones casi similares a las existentes antes de la explotación. El horizonte superior (estéril) que había sido removido en la etapa inicial se usa para cubrir los terrenos minados. Se le agrega esta sobrecarga (arena-arcilla) para emparejar el terreno, y además una capa de suelo que permite plantar árboles y cultivos. También se le puede dar a estos terrenos recuperados otros usos como pistas de golf, áreas de caza y pesca, sitios industriales, plantas de energía, autopistas, pantanos, lagos, habitat de vida silvestre, pasturas, granjas, parques, centros comerciales, edificios públicos.



2.1.2. -MINERÍA SUBTERRÁNEA

Existen varios métodos de explotación subterránea y como en la minería a cielo abierto éstos varían de labores subsuperficiales a explotaciones altamente mecanizadas (UNIDO, 1998). Un ejemplo de este tipo de explotación está en Baja California, Méjico en la mina San Juan de la Costa. Se trata de un yacimiento sedimentario fosfático moderadamente bien cementado, subhorizontal, donde se aplica para la explotación el método de cámaras y pilares dentro de una configuración de espina de pescado (*herringbone*). Los bancos explotables son continuos con un espesor promedio de 1 m y el porcentaje de extracción alcanza al 65% de la mena. El mineral es trasladado en vagonetas a la estación de alimentación y de ahí una cinta transportadora lleva el mineral a una de las entradas de la mina. Cintas transportadoras o camiones llevan la roca fosfática a la planta de beneficio.

La roca se beneficia cerca de un 30% en la pila con aire seco. La cercanía de la planta de beneficio y el puesto simplifica la tarea de transporte y carga sobre barco.



2.1.3. -EJEMPLO DE EXPLOTACION DE UN YACIMIENTO

2.1.3.1. -¿CÓMO COMIENZA LA EXPLOTACIÓN?

Lo primero que se debe hacer es limpiar el área. Esta tarea consiste en el retiro de plantas y otros vegetales del sector a explotar

Luego se remueve la sobrecarga (nivel de arena, limo y arcilla por encima del horizonte de fosfato). Ésta se apila para ser utilizada post-explotación (Remediación)

Para la extracción se utilizan dragalinas (caso IMC) con una capacidad de de 2000 tn/hora, lo que lleva a 50.000 tn/día y unas 12.000.000 de tn/año. Generalmente se trabajan 11 meses. Se toma uno para mantenimiento. La dragalina tenía 65 tn de peso con un brazo de 70 mts y 50 tn de capacidad de balde.



Luego de ser removida la sobrecarga se extrae el horizonte fosfático 'matrix' de 1,5 a 4,5 m de espesor





El material de la pala que se denomina "**Matriz**" es una mezcla inconsolidada de pellets fosfáticos, gravas, calizas fosfatizadas, cuarzo, limo y arcilla



La recuperación promedio es de 10.500 tn/ha

El lavado del material se hace con mangueras a alta presión formando un "barro" que es llevado por cañerías a la primera planta



El material removido y llevado a los "lavaderos" es pasado por clasificadores donde se separa de la "matrix" los clastos y las arcillas





Luego se realiza un tratamiento de flotación con aminoácidos



Así se llega al producto final concentrado





2.1.3.2. -¿QUÉ OCURRE DESPUÉS DE LA EXPLOTACIÓN?

Una vez que termina la explotación, equipos de Ingenieros, biólogos, ecólogos y geólogos comienzan la remediación es decir volver a las condiciones casi similares a las existentes antes de la explotación.

El horizonte superior (estéril) que había sido removido en la etapa inicial se usa para cubrir los terrenos minados. Se le agrega esta sobrecarga (arena-arcilla) para emparejar el terreno, y además una capa de suelo que permite plantar árboles y cultivos.



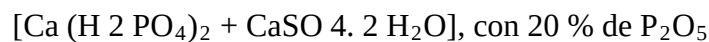
También se le puede dar a estos terrenos recuperados otros usos como pistas de golf, áreas de caza y pesca, sitios industriales, plantas de energía, autopistas, pantanos, lagos, hábitat de vida silvestre, pasturas, granjas, parques, centros comerciales, edificios públicos.



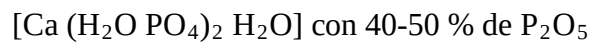
2.1.4. -TRATAMIENTO DEL MATERIAL FOSFÁTICO

El fosfato se trata con ácido sulfúrico para obtener los productos comerciales

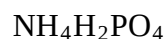
- Superfosfato simple (SSP)



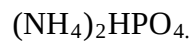
- Superfosfato concentrado (TSP)



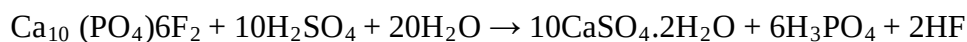
- Monoamonio fosfato



- Fosfato diamónico



La principal fuente de P asimilable proviene de la fabricación de los llamados superfosfatos.



Roca fosfática

Fosfoyeso

Acido fosforito

- Relación molar entre el yeso y el ácido fosfórico es 5:3.
- Relación de masas es 3:1:
- Cada 3 tn de yeso se produce 1 tn de ácido fosfórico

Desde mediados de los 80 la producción anual de fosfoyeso ha sido de 40 a 47 tn metricas/año. En Florida central, se producen 32 M tn al año de fosfoyeso. Las pilas llegan a 1 billón de Tn. Las concentraciones de U y radio-226 en muestras de las pilas



tienen 10 veces más que el contenido en los suelos para U y 60 veces más en radio-226.
Además As, Cd y otros minerales pesados.



2.2. -ESTUDIO DE

VIABILIDAD DE “EL

HORCAJO”



A continuación se planteará el diseño de una planta de tratamiento de fosfatos a partir del material extraído en el frente de explotación. Para ello son precisas las operaciones de trituración, flotación y clasificación.

El proceso se realizara de forma respetuosa con el medio ambiente minimizando al máximo el impacto ambiental que produce este tipo de instalaciones mineras.

Los fosfatos obtenidos, separados en tres tamaños, se pondrán a la venta para cualquier uso que se les quiera dar.

El diseño de la planta se ha desarrollado según el siguiente esquema:

1. Se fijan unos datos de partida y se determinan que operaciones son necesarias para producir los fosfatos establecidos.
2. Determinación del flujo de material por cada una de las operaciones.
3. Calculo de los aparatos necesarios para realizar cada una de las operaciones, y selección de un modelo comercial que cumple con los parámetros calculados.
4. Diseño en planta del conjunto de la instalación, en base a las dimensiones de los equipos y medios de transporte que los enlazan.
5. Evaluación de riesgos laborales de la planta.
6. Impacto ambiental
7. Calculo del presupuesto de inversión. Estudio económico.



2.2.1. -LOCALIZACION DE LA PLANTA

El área estudiada para el diseño de la planta esta incluida en una antigua mina de fosfato denominadas “El Horcajo”, en el municipio de Almodóvar del Campo, en la provincia de Ciudad Real, en la comunidad autónoma de Castilla la Mancha.

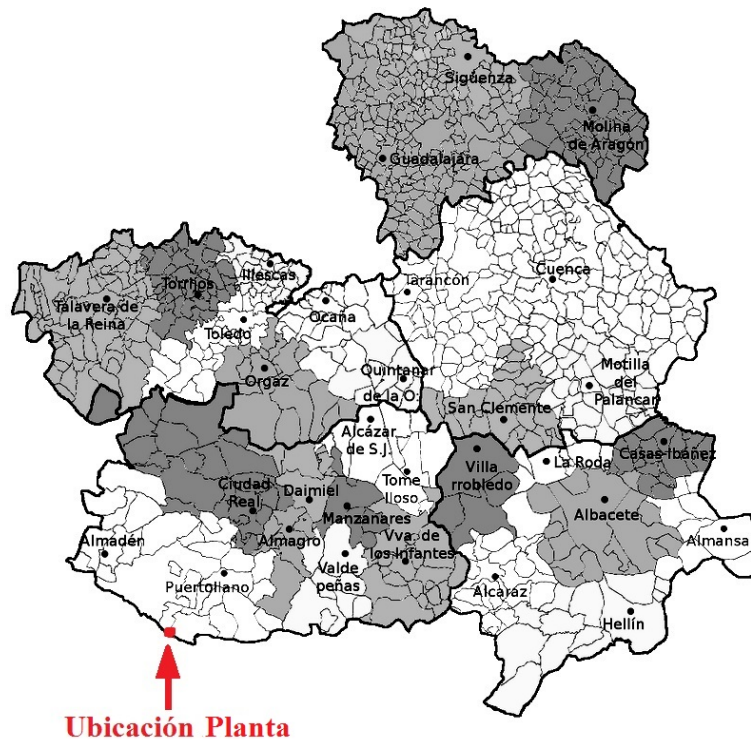
La zona esta remarcada por un cuadrado que tiene por vértices las siguientes coordenadas (X,Y), correspondientes a la cuadrícula UTM (Universal Transversa Mercator) expresada en metros.

A (371.206, 4.265.126)

B (377.051, 4.265.126)

C (377.051, 4.262.242)

D (371.206, 4.262.242)





2.2.2. -CALCULOS

2.2.2.1. -CALCULO VOLUMETRICO DE LA ESCOMBRERA DE LA MINA

A través de la cartografía de la zona y de los perfiles realizados, los resultados obtenidos en cuanto a superficie y volumen de la escombrera son:

Superficies Totales: - Desmonte: 21455,680 m²

- Terraplén: 98,330 m²

Volúmenes: - Desmonte: 461344,52 m³

- Terraplén: 1736,11 m³

2.2.2.2. -CALCULO DE LA PRODUCCION DE FOSFATOS

Para obtener 300 toneladas de fosfato clasificado, si establecemos que cada jornada laboral será de 8 horas, repartidas en 7 horas de producción y 1 hora para labores de mantenimiento, habrá que tratar 300 t/día / 7 h/día= 42,9 t/h

2.2.2.3. -CALCULO DEL FLUJO DE MATERIAL EN LA PLANTA

Para el calculo de las diferentes maquinas que van a realizar cada una de las operaciones, es necesario establecer la cantidad y las características del material que van a ser tratados en cada una de ellas.

Se parte del supuesto de que toda la roca fosfática que extraemos de la escombrera tiene un tamaño máximo de 150 mm y una granulometría desconocida. Tendremos que en cada punto del proceso de tratamiento, tendremos una granulometría diferente, que se ha estimado de la siguiente manera.



2.2.2.4. -CALCULO DE LA MAQUINARIA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El siguiente apartado contiene los cálculos realizados para establecer las dimensiones y características en que se basa la elección de cada una de las máquinas a instalar, en las diferentes operaciones que se desarrollan en la planta. Están expuestos según el orden con que se encuentran dispuestos en el circuito que recorre el material tratado.

2.2.2.4.1. -TOLVAS

Una tolva de Recepción debe tener una capacidad suficiente para almacenar de dos a tres veces el volumen de material que descarga sobre el equipo de alimentación.

En nuestra planta se instalará una tolva de recepción que recoge el producto que descarga el camión sobre ella.

Los camiones basculantes son generalmente de 3 ejes, un eje simple delantero y un eje doble trasero, tal que su peso máximo autorizado es de 26Tn, lo que le permite cargar aproximadamente unas 12Tn, según su tara,

Por tanto la tolva necesita una capacidad mínima de:

$$\text{Tolva: } 12\text{Tn} = 6\text{m}^3 \cdot 2,5 = 15\text{m}^3$$

La tolva tendrá forma de tronco de pirámide rectangular invertido.

Calculando el volumen del tronco piramidal, según la fórmula:

$$V = (h / 3) \cdot (a \cdot b + c \cdot d + (a \cdot b \cdot c \cdot d))$$



Siendo:

$\text{Volumen} = (\text{altura} / 3) \cdot (\text{base mayor} + \text{base menor} + \text{raíz}(\text{base mayor} \cdot \text{base menor}))$

$$\text{Volumen} = (2,5 / 3) \cdot (4 \cdot 4) + (0,8 \cdot 0,6) + \text{raíz}(4 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 0,6) = 16\text{m}^3$$

	Boca de admisión	Altura	Boca de descarga	Volumen
Tolva	4.000 x 4.000mm	2500mm	800 x 600mm	16m ³ > 15m ³

Como el volumen de operación es de 42,9 t/h, es decir, alrededor de 22m³, la tolva no tendrá capacidad para acumular el volumen total tratado en una hora. En el caso de que el circuito de trituración estuviera detenido más de 45 minutos, el camión tendría que parar su actividad.

2.2.2.4.2. –TRITURADORA DE MANDIBULAS

Para seleccionar la maquinaria de fragmentación se precisa determinar entre otros parámetros:

- Qué potencia necesita el motor para suministrar la energía necesaria en la operación.
- Las dimensiones de la boca de admisión de la trituradora.

2.2.2.4.2.1. -CALCULO DEL MOTOR DE LA TRITURADORA DE MANDIBULAS

Para el cálculo del motor de una trituradora de mandibulas, basándose en la fórmula de Bond, necesitamos conocer los siguientes datos:



- n: relación de reducción de la operación de fragmentación, es la relación entre el tamaño de alimentación y el tamaño de producto: $n = D_{80} / d_{80} = D_{\max} / d_{\max}$
- d_{80} : tamaño de malla que deja pasar el 80% del producto fragmentado; se deduce a partir de la curva granulométrica del producto de la máquina.
- W_i : índice de Bond, característico del material a fragmentar.

Para calcular la potencia nominal que necesitará el motor de la trituradora de mandíbulas, partimos de los siguientes datos:

- $n = D_{\max} / d_{\max} = 150\text{mm} / 25\text{mm} = 6$ relación de reducción
- $d_{80} = 25.000\mu\text{m}$ por tabla se obtiene que el 80% del producto de la trituración pasa por una malla de tamaño igual al 62% del tamaño máximo.

$$d_{80} = 62,5\% \text{ tal que } d_{\max} = 0,625 \cdot 25\text{mm} = 15,625\text{mm} = 15.635\mu\text{m}$$

- $W_i = 11,1$ es el valor del índice de bond para la trituración de la roca fosfática

Análogamente al caso anterior, aplicando la fórmula de Bond:

$$\begin{aligned} W &= 10 \cdot W_i \cdot ((1 / \text{raíz}(d_{80})) - (1 / \text{raíz}(D_{80}))) = \\ &= W_i \cdot (1 - (1 / \text{raíz}(n)) \cdot \text{raíz}(100 / d_{80})) = \\ &= 11,1 \cdot (1 - (1 / \text{raíz}(6))) \cdot \text{raíz}(100 / 15.635\mu\text{m}) = 0,362 \text{ kWh/sht} \end{aligned}$$

Sabiendo que:

C = Capacidad de la trituradora de mandíbulas = 80 t/h

f = coeficiente mayoración para la trituradora de mandíbulas = 2



Nos quedara que:

$$\begin{aligned} P &= (C / 0,9072) \cdot W \cdot f = \\ &= ((80 \text{ t/h}) / (0,9072 \text{ t/sht})) \cdot 0,362 \text{ kWh/sht} \cdot 2 = \\ &= 63,84 \text{ kW} = 63,84 \text{ kW} \cdot 1,36 = 86 \text{ CV} \end{aligned}$$

Necesitamos una trituradora de mandíbulas equipada con un motor cuya potencia sea como mínimo de 63,84 kW o 86 CV

2.2.2.4.2.2. –CALCULO DE LAS DIMENSIONES DE LA BOCA DE ADMISION DE LA TRITURADORA DE MANDIBULAS

Las machacadoras de mandíbulas son maquinas de trituración por compresión discontinua, de carácter universal. Se designan por las dimensiones de la boca de admisión.

Siendo:

H: el ancho de la boca de admisión $\geq 1,25$, $D_{\max} \geq 187,5 \text{ mm}$

L: la longitud de la boca de admisión

El ancho de la boca de admisión deberá ser, al menos, un 20% mayor que el tamaño del material a triturar, por lo que utilizaremos el 25% más:

$$H = \text{ancho} = D_{\max} \cdot 1,25 = 150\text{mm} \cdot 1,25 = 187,5\text{mm}$$

La capacidad de producción de una máquina es la cantidad de producto evacuado por unidad de tiempo. Viene dada por la fórmula de Gieseking, de la que conocemos todos los factores y podemos despejar el valor de la longitud de la boca de admisión, que se necesita para la producción establecida.



$$\text{Capacidad (t/h)} = f \cdot \rho_a \cdot l \cdot s \cdot d \cdot n \cdot a \cdot u = 42,9 \text{ t/h}$$

Siendo:

C= 42,9 t/h. Capacidad que se establece tenga la trituradora.

F= 0,000088 para una trituradora de mandíbulas acanaladas

$$\rho_{\text{aparente}} = 0,6 \cdot 2,7 \text{ t/m}^3 = 1,62 \text{ t/m}^3$$

s = 9,375cm reglaje máximo, en cm, máxima distancia entre los extremos inferiores de las mandíbulas.

d = 3,125cm recorrido o amplitud del movimiento, como lo desconozco tomo el valor medio 0,33s:

$$d = 0,33 \cdot s = 0,33 \cdot 9,375\text{cm} = 3,093\text{cm}$$

a = 1,12 coeficiente dependiente del ángulo de las mandíbulas, cuyo valor es:

$$1 + 0,03 \cdot (26^\circ - \text{ángulo de mandíbulas}) = 1 + 0,03 \cdot (26^\circ - 22^\circ) = 1,12$$

n = 239,285rpm número de oscilaciones por minuto, igual a las revoluciones por minuto del volante.

$$n = 423 / d^{0,5} = 423 / 3,125^{0,5} = 239,285\text{rpm}$$

u = coeficiente que depende de la forma de alimentación a la machacadora y de la relación del tamaño máximo de grano de dicha alimentación al ancho de boca (dimensión menor de la boca).

$$R = D_{\text{max}} / H = 150\text{mm} / H$$

$$l \cdot u = C / (f \cdot \rho_a \cdot l \cdot s \cdot d \cdot n \cdot a) =$$

$$\begin{aligned} &= (42,9 \text{ t/h}) / (0,000088 \cdot 1,62 \text{ t/m}^3 \cdot 9,375\text{cm} \cdot 3,093\text{cm} \cdot 239,285\text{rpm} \cdot 1,12) \\ &= 38,7 \text{ cm} \end{aligned}$$



Busco el valor de la longitud (l) en función del valor del coeficiente u dependiente de H, obteniendo los valores de la siguiente tabla:

H (ancho de la boca, mm)	R (Dmax / H)	u	L (long. de boca, mm)
625	0,8	0,825	1.124,56
650	0,769	0,86	1.078,80
700	0,714	0,92	1.008,44
750	0,666	0,933	994,39
800	0,625	0,95	976,59

Los modelos comerciales que cumplen con las características buscadas:

- potencia superior a 86 CV
- capacidad de producción 42,9 t/h

Las que más se acercan a las dimensiones calculadas para la boca de admisión son las que se recogen a continuación:

Marca Modelo	Tipo	Peso (kg)	Potencia (KW)	Boca (mm)	Reglaje(mm)		Capacidad(mm)	
					Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
DRAGON MP	Blake	35.000	50-75	1.000x700	150	80	150	60
TURBO 1000-750	AF	24.500	75	1.000x750	200	75	200	70
TURBO 1000-750	Blake	34.000	75	1.000x750	200	80	200	60

Selecciono la Trituradora de Mandíbulas de Simple Efecto (AF) TURBO 1000-750.



2.2.2.4.3. -CINTAS TRANSPORTADORAS

Este apartado recoge el método de cálculo utilizado y las tablas correspondientes, en que se basa el desarrollo del cálculo de las cintas de transporte que formarán parte de la planta.

2.2.2.4.3.1. -DIMENSIONAMIENTO DE CINTAS TRANSPORTADORAS

La anchura de la banda de las cintas es determinada por la capacidad de transporte que se precisa o por el tamaño máximo del material.

La producción es directamente proporcional a la velocidad de la cinta, al área de la sección transversal del material sobre la banda y a la densidad del material. En condiciones de eficiencia máxima las cintas trabajarán totalmente cargadas y a la velocidad máxima recomendada.

2.2.2.4.3.2 -CAPACIDAD DE LAS CINTAS

En la se indican las capacidades de transporte en toneladas/hora para un material con una densidad de 1.000 kilogramos/ metro cúbico, y una velocidad de la banda de 1 metro/segundo y diversas anchuras de banda y ángulos de artesa.



Ángulo de carga	Anchura de banda (mm)	Ángulo de artesa					
		20°	25°	30°	35°	40°	45°
25°	400	46	50	54	56	59	60
	500	77	84	90	94	98	101
	650	138	151	161	170	176	181
	800	217	237	253	266	277	284
	1.000	350	381	408	429	446	457
	1.200	515	560	599	631	655	671
	1.400	711	771	827	871	904	926
	1.600	939	1.022	1.092	1.150	1.193	1.222
	1.800	1.198	1.304	1.394	1.467	1.522	1.560
	2.000	1.489	1.621	1.732	1.823	1.892	1.938

2.2.2.4.3.3. -ÁNGULOS DE CARGA

El ángulo de reposo del material a transportar disminuye debido a las ondulaciones de la banda cuando discurre sobre los rodillos. El ángulo de carga es menor que el ángulo de reposo, y es una de las características más importantes que intervienen en el cálculo de la capacidad de transporte, pues de él depende el área de la sección transversal del material, y por ello el volumen transportado por unidad de tiempo.

Las dimensiones recomendadas de la anchura que el material debe ocupar en la banda para perfil plano o en artesa, es igual al 90% del ancho de banda menos 0,05m.

anchura de la banda(mm)	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
dimensión X (mm)	45	50	58	65	75	85	95	105	115	125



Los valores medidos del ángulo de carga son los siguientes:

- materiales finos que fluyen fácilmente en seco.....5°-10°
- materiales de fluencia media.....15°
- materiales que no fluyen.....20°
- materiales gruesos mezclados con finos.....25°

2.2.2.4.3.4. -TAMAÑO MÁXIMO DEL BLOQUE

El tamaño del bloque es un factor que determina la anchura mínima de la banda, particularmente con cintas de baja capacidad.

Tamaños máximos recomendados para diversas anchuras de banda

anchura de banda	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
fragmentos uniformes	75	100	125	150	200	300	300	375	450	450
material con 80% de finos	125	175	250	300	375	450	600	600	600	600

Las anchuras que aparecen en las tablas corresponden a las estándar que se citan en la normativa ISO. En el mercado pueden lógicamente encontrarse bandas de distintas anchuras.

2.2.2.4.3.5. -ÁNGULO DE ARTESA

Normalmente los ángulos de artesa son de 30° y de 35°. No obstante, en cintas de pequeña capacidad se suele utilizar el ángulo de 20°. La flexibilidad de las bandas influye en la selección del ángulo de artesa.



2.2.2.4.3.6. -VELOCIDAD DE LAS CINTAS

Las velocidades de las cintas que suelen utilizarse en las plantas varían según la anchura de la banda y según el tipo de roca a transportar, pero siempre suelen oscilar entre 1 a 4 m/s, llegando en pocas ocasiones incluso a los 5 m/s.

2.2.2.4.3.7. -ÁNGULO DE INCLINACIÓN

El ángulo de inclinación de la cinta depende del tipo de material a transportar, el tipo de banda, la velocidad con que se mueven. Los ángulos de las cintas cuando transportan el material en condiciones secas suelen ser como máximo 20°.

2.2.2.4.3.8. -CALCULO DE POTENCIA DE ACCIONAMIENTO

La potencia para accionar una cinta transportadora puede calcularse teniendo en cuenta las siguientes componentes:

- P_T : Potencia Total (Kw).
- P_v : Potencia de acondicionamiento de la cinta en vacío (Kw).
- P_h : Potencia para transportar el material horizontalmente (Kw).
- P_e : Potencia para elevar o descender el material (Kw).

Se cumple que: $P_T = P_v + P_h + P_e$

La potencia mínima del motor debe ser: $M_p = P_T / f$

Siendo f la eficiencia de accionamiento (95%)



Potencia para mover las cintas en vacío
con unas velocidades de 1m/s

Longitud de la cinta (m)	Ancho (mm)				
	400	500	650	800	1.000
10	0,4	0,5	0,7	0,8	1,1
16	0,4	0,5	0,7	0,9	1,2
25	0,4	0,6	0,8	1	1,4

Potencia para mover la roca horizontalmente (P_H)

Capacidad (t/h)	Longitud de la cinta transportadora (m)			
	10	16	25	40
40	0,2	0,2	0,2	0,2
60	0,2	0,3	0,3	0,4
100	0,4	0,5	0,5	0,6

Potencia necesaria para elevar o descender la roca (P_E)

Capacidad (t/h)	Elevación (m)			
	5	6,3	8	10
40	0,5	0,7	0,9	1,1
63	0,8	1	1,3	1,7
100	1,3	1,6	2,1	2,7



2.2.2.4.3.9. –CALCULO DE LAS CINTAS TRANSPORTADORAS DE LA PLANTA

A continuación se describen los pasos seguido en el cálculo de las seis cintas transportadoras que se precisan en la planta.

1º Se selecciona la anchura y la velocidad de la banda para la capacidad de diseño requerida:

- Se entra en la tabla de tamaños máximos recomendables con el tamaño máximo de bloque y se obtiene la anchura de la banda en milímetros.
- Se elige la velocidad típica para el material transportado.
- Se selecciona el tipo de material y se saca el ángulo de carga.
- Con ángulo de carga, anchura de banda y un ángulo de artesa de 35°, y se obtiene la capacidad de la cinta en t/h cuando se mueve a 1 m/s.
- Se corrige la capacidad de las cintas para la velocidad y densidad dadas como dato
- Si no se alcanza la capacidad deseada se tantea con otra anchura de banda superior hasta que se alcance o se supere la capacidad buscada.
- Una vez elegida la anchura de banda que alcanza la capacidad requerida, se ajusta la velocidad para que la cinta tenga la capacidad exacta que buscamos.

2º Se calcula la potencia de accionamiento de la cinta transportadora:

- En tabla de potencias con cinta vacía, se entra con la anchura y la longitud que más se aproximan a los valores de diseño de la cinta y se obtiene la potencia de accionamiento que tendría una cinta de esa anchura y longitud para que se mueva a una velocidad de 1 m/s.
- Se corrige la potencia obtenida, para la velocidad y longitud de diseño.
- En la tabla de potencia para mover la roca en horizontal, se entra con la longitud y capacidad más cercanas a las de diseño, y se obtiene a potencia P_h , que necesita una cinta de esa longitud para mover es carga si estuviera en posición horizontal.
- Se corrige la potencia obtenida, para la longitud y capacidad dados.



- En tabla de potencia para elevar o descender la roca, se entra con altura y la capacidad más cercanas a las de diseño, para obtener el valor de P_e , que necesita una cinta para elevar esa cantidad de material a dicha altura,
- Análogamente se corrige la potencia obtenida, para la altura y capacidad dados.
- La potencia total necesaria será: $P_T = P_v + P_h + P_e$
- La potencia mínima del motor será: $M_p = P_T / f$

Estableciendo el procedimiento de cálculo, determino cuales son los datos de partida que necesito, teniendo en cuenta:

- material a transportar:
 - naturaleza: fosfática
 - tamaño máximo: 150 y 40mm
 - cantidad a transportar en t/h
 - inclinación máxima que permite según el material
- diferencia de cota de los puntos de carga y descarga, que es la altura a salvar
- longitud real de la cinta en función de la inclinación máxima y la altura.

Datos de partida para el cálculo de las cintas transportadoras

Cinta	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4	Nº5	Nº6
Tamaño máx.	150mm	150mm	25mm	18mm	25mm	12mm
t/h	42,9	42,9	24,8	18,1	14,4	10,4
Inclinación	20°	10°	10°	5°	5°	2°
Punto de carga	Trituradora	Lavado	Criba 40mm	Criba 12mm	Flotación	Flotación
Punto descarga	Lavado	Criba 40mm	Flotación	Acopio	Acopio	Acopio
Altura a salvar	5m	0m	0m	0m	0m	0m
Longitud	5m	5m	11m	20m	20m	20m



CINTA Nº1

Dato	Incognita
Dmáx. < 150mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Caliza fosfatizada	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de $1.000\text{kg/m}^3 = 94\text{t/h}$
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m^3	249,3 t/h
Corrección para 42,9 t/h	0,32 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 5m	0,25 kW para mover a 1m/s
Corrección para 5m y 0,32 m/s	0,066 kW
Longitud 5m y capacidad 42,9 t/h	0,2 kW
Corrección para 5m y 42,9 t/h	0,11 kW
Altura 5m y 42,9 t/h	0,25 kW
Corrección para 5m y 42,9 t/h	0,134 kW
Potencia total	$0,066 + 0,11 + 0,134 = 0,31 \text{ kW}$
Potencia mínima	$0,31 / 0,95 = 0,326 \text{ kW}$
Motorreductor comercial	$0,326 \text{ kW} = 0,44 \text{ CV}$



CINTA Nº2

Dato	Incognita
Dmáx. < 150mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Caliza fosfatizada	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de $1.000\text{kg/m}^3 = 94\text{t/h}$
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m^3	249,3 t/h
Corrección para 42,9 t/h	0,32 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 5m	0,25 kW para mover a 1m/s
Corrección para 5m y 0,32 m/s	0,066 kW
Longitud 5m y capacidad 42,9 t/h	0,2 kW
Corrección para 5m y 42,9 t/h	0,11 kW
Altura 0m y 42,9 t/h	0 kW
Corrección para 0m y 42,9 t/h	0 kW
Potencia total	$0,066 + 0,11 = 0,176 \text{ kW}$
Potencia mínima	$0,31 / 0,95 = 0,185 \text{ kW}$
Motorreductor comercial	$0,185 \text{ kW} = 0,25 \text{ CV}$



CINTA Nº3

Dato	Incognita
Dmáx. < 25mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Caliza fosfatizada	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de 1.000kg/m ³ = 94t/h
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m ³	249,3 t/h
Corrección para 24,8 t/h	0,13 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 11m	0,4 kW para mover a 1m/s
Corrección para 11m y 0,14 m/s	0,06 kW
Longitud 11m y capacidad 24,8 t/h	0,2 kW
Corrección para 11m y 24,8 t/h	0,1 kW
Altura 0m y 24,8 t/h	0 kW
Corrección para 0m y 24,8 t/h	0 kW
Potencia total	0,06 + 0,1 = 0,16 kW
Potencia mínima	0,16 / 0,95 = 0,1684 kW
Motorreductor comercial	0,1684 kW = 0,23 CV



CINTA N°4

Dato	Incognita
D _{máx.} < 18mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Caliza fosfatizada	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de 1.000kg/m ³ = 94t/h
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m ³	249,3 t/h
Corrección para 18,1 t/h	0,12 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 15m	0,5 kW para mover a 1m/s
Corrección para 15m y 0,12 m/s	0,071kW
Longitud 20m y capacidad 18,1 t/h	0,33 kW
Corrección para 20m y 18,1 t/h	0,1 kW
Altura 0m y 18,1 t/h	0 kW
Corrección para 0m y 18,1 t/h	0 kW
Potencia total	0,071 + 0,1 = 0,171 kW
Potencia mínima	0,171 / 0,95 = 0,18 kW
Motorreductor comercial	0,18 kW = 0,24 CV



CINTA Nº5

Dato	Incognita
D _{máx.} < 25mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Caliza fosfatizada	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de 1.000kg/m ³ = 94t/h
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m ³	249,3 t/h
Corrección para 14,4 t/h	0,11 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 20m	0,52 kW para mover a 1m/s
Corrección para 20m y 0,11 m/s	0,05 kW
Longitud 20m y capacidad 14,4 t/h	0,16 kW
Corrección para 20m y 14,4 t/h	0,1 kW
Altura 0m y 14,4 t/h	0 kW
Corrección para 0m y 14,4 t/h	0 kW
Potencia total	0,05 + 0,1 = 0,15 kW
Potencia mínima	0,15 / 0,95 = 0,157 kW
Motorreductor comercial	0,157 kW = 0,22 CV



CINTA N°6

Dato	Incognita
Dmáx. < 12mm	Anchura de banda = 500
Ancho de la banda = 500mm y Roca suelta	Velocidad Típica = 1,7m/s
Material = Fosfato concentrado	Ángulo de carga = 25°
Ángulo de carga = 25° Ancho de banda = 500mm Ángulo de artesa = 35°	Capac. a 1m/s de 1.000kg/m ³ = 94t/h
Corrección para 1,7m/s y 1.560kg/m ³	249,3 t/h
Corrección para 10,4 t/h	0,06 m/s
Ancho de banda = 500mm Longitud de cinta = 11m	0,4 kW para mover a 1m/s
Corrección para 20m y 0,06 m/s	0,035 kW
Longitud 20m y capacidad 10,4 t/h	0,2 kW
Corrección para 20m y 10,4 t/h	0,1 kW
Altura 0m y 10,4 t/h	0 kW
Corrección para 0m y 10,4 t/h	0 kW
Potencia total	0,035 + 0,1 = 0,135 kW
Potencia mínima	0,135 / 0,95 = 0,142 kW
Motorreductor comercial	0,142 kW = 0,19 CV



Resumen de las cintas calculadas para la planta:

Cinta	Longitud (m)	Altura (m)	Inclinación (grados)	Carga (t/h)	Ancho (mm)	Velocidad (m/seg)	Potencia	
							kW	CV
Nº1	5	5	20°	42,9	500	0,32	0,326	0,44
Nº2	5	0	10°	42,9	500	0,32	0,185	0,25
Nº3	11	0	10°	24,8	500	0,13	0,168	0,23
Nº4	20	0	5°	18,1	500	0,12	0,18	0,24
Nº5	20	0	5°	14,4	500	0,11	0,157	0,22
Nº6	20	0	2°	10,4	500	0,06	0,142	0,19



2.2.2.4.4. -CALCULO DE LAS CRIBAS VIBRANTES

Para calcular las dimensiones de la superficie de cribado que se necesita en cada corte se necesita saber como datos iniciales las características del material a clasificar:

- Distribución granulométrica del material, con lo que se determinará el flujo de material en la planta. Es imprescindible para conocer cual debe ser el % de rechazo que tiene que producir cada malla y el % de paso de semitamaños.
- densidad aparente del material: caliza fosfatada $1,56 \text{ t/m}^3 = 1,56 \text{ kg/cm}^3$
- forma del material: material triturado
- humedad superficial que presenta el material: tomaremos un 4% para el material seco

Y otros parámetros relativos a la criba y malla a emplear, como son:

- inclinación de la criba, en grados, respecto de la horizontal,
- número del piso en que se dispone la malla,
- cribado en seco o con sistema de riego a presión,
- eficiencia que se requiere obtener.

Método Blanc

$$C = Q \cdot (H / H_0) \cdot (\rho_a / 1,5) \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4 \cdot F_5 \cdot F_6 \cdot F_7 \cdot F_8$$

Siendo:

Q: la capacidad base para productos de forma regular, con una densidad aparente de $1,5 \text{ t/m}^3$, una humedad superficial entre el 1 y el 4%, tal que se rechaza un 50% de la alimentación que posee un 40% de partículas inferiores a la mitad de la malla, por cribas inclinadas entre 18 y 22° , con una eficiencia de cribado del 92%.



Capacidad base y % de huecos en función de la luz, según Blanc

Malla (mm)	% Huecos	Q (t/m ² .h)
100	7	110
80	70	100
70	72	95
60	70	85
50	70	80
45	68	78
40	68	75
35	72	72
30	70	70
25	67	66
20	69	60
15	62	55
12	56	50
8	56	40
5	48	36
4	44	18
3	43	16
2	38	14
1	36	9
0,75	30	6
0,6	30	4
0,5	30	2
0,4	30	1,2
0,3	28	0,5
0,2	32	0,16
0,15	30	0,1



H: % de huecos (luz libre) de la superficie cribante. Según la norma ISO 14315:1997 es igual a:

$$H = (100 \cdot w^2) / (w + d)^2$$

Siendo: w luz de malla (mm)

d diámetro del alambre (mm)

H₀: % de huecos correspondiente a la capacidad base

ρ_a: densidad aparente del material, para corregir la desviación de 1,5 t/m³

F₁: factor que corrige la desviación de la forma de los granos

F1	1	0,85	0,7
material	cantos rodados y arenas	triturado normal	muy irregular

F₂: factor de corrección según la inclinación de la criba

F2	1	0,85
inclinación de la criba	entre 18 y 22°	horizontal

F₃: factor que indica el número de piso de la criba

F3	1	0,9	0,8	0,7
Piso	1º	2º	3º	4º

F₄: factor que corrige por el empleo de riego en los tamizados en húmedo

F4	3,5	3	2,5	1,75	1,5	1,25	1
Luz de malla (mm)	5	4 u 8	3 o 10	2 o 15	20	30	<1 o >30

F₅: factor que corrige la desviación del % de rechazo del valor tipo de 50%

F₆: factor que tiene en cuenta la eficiencia deseada en el cribado



F₇: factor que corrige por la proporción de material inferior a la mitad de la malla

F₈: factor que corrige según el contenido en humedad superficial del producto

	rechazo	eficiencia	semitamaños	humedad
%	F5	F6	F7	F8
1--4				1
5				0,8
6				0,5
8				0,4
9				0,3
10	1,4		0,4	0,2
20	1,3		0,6	0
30	1,2		0,8	0
40	1,1		1	1
50	1	2	1,2	1,1
60	0,9	1,8	1,4	1,2
70	0,8	1,6	1,6	1,25
80	0,7	1,4	1,8	
90	0,6	1,2	2	
92	0,5	1		
94	0,44	0,8		
96	0,35	0,7		
98	0,2	0,6		

Una vez calculada la capacidad de la criba, tenemos que la superficie de cribado en m², será igual a la producción deseada en t/h, entre la capacidad calculada en t/m².h



- **Criba de 40mm:**

Lo primero se determinan cada uno de los factores que integran la fórmula:

Q	42,9 t/m ² .h	capacidad base para 40mm
H	72,43%	para luz de malla de 40mm y diámetro de alambre 7mm
H0	68%	% huecos para 40mm
ρ _a	1,56 t/m ³	densidad aparente de la caliza fosfatada
F1	0,85	material triturado normal
F2	1	criba inclinada
F3	1	primer piso
F4	1	sin riego
F5	0,93	rechaza el 57% de la alimentación
F6	1,2	se requiere una eficiencia de cribado del 90%
F7	0,6	El 20% de la alimentación tiene un tamaño inferior a 20mm
F8	1	suponemos una humedad superficial del 4%

Sustituyendo esos valores en la fórmula de Blanc, nos queda:

$$C = 42,9 \cdot (72,43 / 68) \cdot (1,56 / 1,5) \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1,2 \cdot 0,6 \cdot 1 =$$
$$= 27 \text{ t/m}^2 \cdot \text{h}$$

La criba a 40mm tendrá una capacidad de 27 t/m².h, para poder tratar las 42,9 t/h con que se va a alimentar necesitará una superficie mínima de 2,3 m².

Esta superficie mínima habrá que mayorarla un 30%, ya que el material no se reparte uniformemente sobre toda la superficie de cribado.

$$S = 42,9 / 27 = 1,58 \text{ m}^2 \rightarrow 1,58 \text{ m}^2 + 30\% = 2,05 \text{ m}^2$$

Superficie de cribado mínima para la criba de 25mm: 2,05 m².



- **Criba de 12mm:**

Lo primero se determinan cada uno de los factores que integran la fórmula:

Q	18,44 t/m ² .h	capacidad base para 12mm
H	56,25%	para luz de malla de 12mm y diámetro de alambre 4mm
H0	56%	% huecos para 12mm
ρ _a	1,56 t/m ³	densidad aparente de la caliza fosfatada
F1	0,85	material triturado normal
F2	1	criba inclinada
F3	0,9	segundo piso
F4	1	sin riego
F5	1	rechaza el 50% de la alimentación
F6	1,2	se requiere una eficiencia de cribado del 90%
F7	0,6	El 20% de la alimentación tiene un tamaño inferior a 6mm
F8	1	suponemos una humedad superficial del 4%

Sustituyendo esos valores en la fórmula de Blanc, nos queda:

$$C = 18,44 \cdot (56,25 / 56) \cdot (1,56 / 1,5) \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,6 \cdot 1 =$$
$$= 10,6 \text{ t/m}^2 \cdot \text{h}$$

La criba a 12mm tendrá una capacidad de 10,6 t/m².h, para poder tratar las 18,44 t/h con que se va a alimentar necesitará una superficie mínima de 2,3 m².

Esta superficie mínima habrá que mayorarla un 30%, ya que el material no se reparte uniformemente sobre toda la superficie de cribado.

$$S = 18,44 / 10,6 = 1,74 \text{ m}^2 \rightarrow 1,74 \text{ m}^2 + 30\% = 2,26 \text{ m}^2$$

Superficie de cribado mínima para la criba de 12mm: 2,26 m².



- **Ancho mínimo de la superficie de cribado:**

Independientemente al cálculo de la superficie necesaria, la criba debe poseer una anchura mínima, para que la capa de material no adquiriera un espesor elevado, que impida la posibilidad de que las diferentes partículas tengan acceso a la malla.

Producción t/h	50	75	175	275	350	500	650	750
Ancho (mm)	500	600	900	1200	1500	1800	2100	2400

Con lo cual utilizando la tabla usaremos un ancho mínimo de 500mm para nuestras cribas.



2.2.2.4.5. – *CALCULO FLOTACIÓN*

Para la operación de concentración por flotación utilizaremos un cono separador WEMCO. Consiste en una maquina de medio denso en baño tranquilo que consta esencialmente de un cono donde se vierte la carga, en donde se encuentra un medio denso, los productos son arrastrados por el desborde del liquido denso. La fracción hundida se evacua mediante un “air lift”. El giro de unas paletas unidas al eje del cono, así como el aire comprimido introducido, evitan la decantación del medio denso que se utilice. El medio denso son suspensiones estables de partículas sólidas densas en agua.

Destaca este aparato Wemco, respecto a los del mismo tipo empleados por otras patentes, la simplificación del aire comprimido, un único sistema de “air lift” situado en el vértice del cono invertido, realiza la doble misión que se le encomienda.

El gasto total de aire en una instalación Wemco provista de cono separador es del siguiente orden:

Cono de 5'	1,6 m ³ /min
Cono de 7'	2,8 m ³ /min
Ono de 10'	3,9 m ³ /min

La carga entra en el aparato separador del cual posteriormente sale separadamente lo flotado y lo hundido.

Se utilizan generalmente dos productos en el medio denso:

- Magnetita: Oxido ferroso férrico, que se utiliza molida finamente por debajo de los 0,2 y 0,3 mm y se puede utilizar hasta realizar suspensiones de hasta 2,5 Kg/dm³ de densidad.



- Ferrosilicio: aleación de hierro-silicio, se obtiene artificialmente. Suele tener entre un 84-86% de Fe y del 14-16% de Si. Si se pone más del 16% de Si es muy poco

magnético. Se puede utilizar para realizar suspensiones de hasta $3,5 \text{ Kg/dm}^3$. Para realizar suspensiones de densidades medias se utiliza una mezcla de los dos productos.

Las propiedades de los sólidos que forman el medio denso son:

- Dureza: para que no degrade el material (se muele a si mismo) dando lugar a finos que puedan aumentar la viscosidad del medio.

- Estabilidad química: para que no se oxide el material y se reduzca el magnetismo de este.

- Peso específico: para que nos proporcione la densidad del baño adecuada.

- Recuperabilidad: que sea recuperable el material, y para ello debe tener una de las tres propiedades: magnéticas, gravimétricas y flotabilidad. Con una sola de ellas es suficiente y sirven para poder recuperarlo y limpiarlo. Lo normal es que la recuperación del medio denso este basada en propiedades magnéticas.

Los factores a regular en las suspensiones en medio denso:

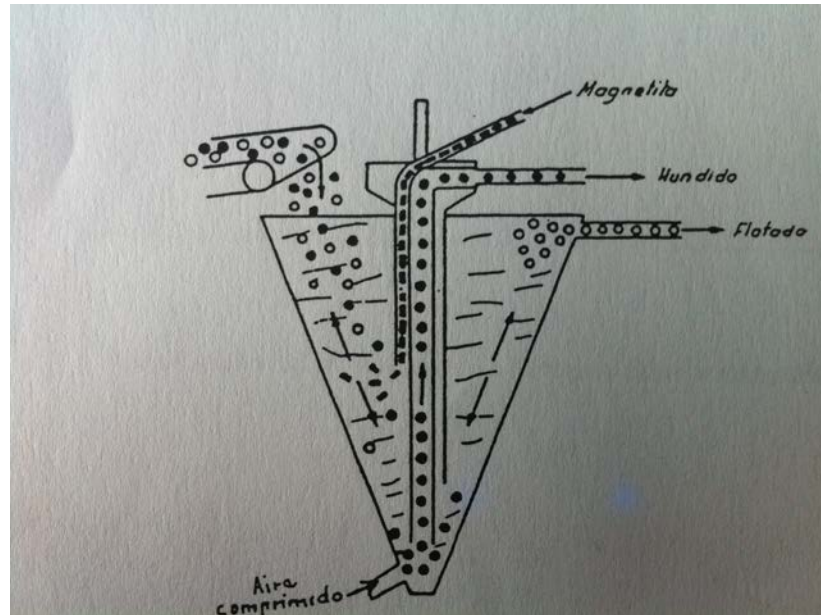
- Densidad: para poder fijar el punto de corte del concentrado y estéril.

- Estabilidad: más físicas que química, para que las partículas del medio denso no caigan dentro del baño. Esta relacionada con la viscosidad (con viscosidad baja pierde estabilidad)

- Viscosidad: necesaria para que circule el producto con normalidad a través del medio; una viscosidad alta no deja circular el producto y una viscosidad baja el medio no es estable. Esta directamente relacionada con la limpieza.



- Limpieza: para eliminar los finos que se produzcan y que no aumente la viscosidad



CONO SEPARADOR WEMCO				
Diámetro	“air-lift” Ø	Capacidad (t/h)	Motor (CV)	Peso aproximado (Kg)
5’	4’’- 6’’	5-20	1,5	1500
7’	6’’- 9’’	15-50	3	3000
10’	6’’- 10’’	30-120	5	5500
14’	8’’- 12’’	70-200	6	9200
16’	8’’- 12’’	100-300	7,5	10500
18’	8’’- 16’’	125-400	7,5	12000
20’	8’’- 16’’	150-500	10	14000

En nuestra planta tenemos una capacidad de carga de 24,8 t/h a la entrada de la flotación con lo cual elegiremos un cono separador Wemco de 7’ de diámetro, que es capaz de soportar una capacidad de carga de 15 a 50 t/h, con un motor de 3 CV y un peso



aproximado de 3000 Kg. En cuanto al medio denso trataremos el fosfato con ácido sulfurico.



2.2.2.4.6. –*CALCULO DE LOS ACOPIOS*

Los acopios donde se almacenarán los áridos, estarán diferenciados por muros de hormigón armado, tales que, el volumen útil que limitan, sea suficiente para almacenar la producción diaria.

Para calcular las dimensiones de los muros necesarias para poder almacenar el material, tengo en cuenta que:

Un muro principal de 30 metros de longitud y 2 metros de altura, paralelo a la instalación de clasificación.

Perpendiculares al muro principal se colocarán 2 muros de 10 metros de largo, con una altura descendente desde los 2,5m del principal hasta 1,5m en el extremo opuesto. Tendrán un espesor de 40cm, dejando 10m de separación entre muros consecutivos y los extremos.



2.2.2.4.7. –CALCULO DE SUMINISTRO DE ENERGIA ELECTRICA

Nº	Maquinaria	Potencia (CV)
1	Alimentador vibrante	0,8
2	Trituradora de mandíbulas	100
3	Cinta nº1 (5m)	0,44
4	Cinta nº2 (5m)	0,25
5	Criba vibrante	20
6	Cinta nº3 (11m)	0,23
7	Cinta nº4 (20m)	0,24
8	Flotación	3
9	Cinta nº5 (20m)	0,22
10	Cinta nº6 (20m)	0,19
	Potencia Total	125,37



2.2.3. -MAQUINARIA

Este apartado contiene la información general y particular sobre las maquinas y elementos que formaran parte de la planta de tratamiento de fosfatos proyectada.

2.2.3.1. -FRAGMENTACIÓN

En la producción de fosfatos es necesaria la reducción del tamaño de la roca obtenida en la cantera hasta tamaños utilizables. Esta reducción se lleva a cabo mediante operaciones de fragmentación, como son la trituración y molienda, que en la práctica son combinadas con operaciones de clasificación, volumétrica e hidráulica, dando lugar a un círculo de trituración y molienda, cuyo diseño tiene también una notable importancia en el éxito de las operaciones.

A la hora de producir fosfatos, se debe buscar un producto que se adapte a un determinado huso granulométrico, y que cumpla con una serie de exigencias en cuanto a la forma y resistencia de los granos; que dependen básicamente de la naturaleza de la roca, pero pueden ser modificadas por el tipo de máquina de fragmentación utilizada. Por tanto, es una cuestión a tener en cuenta en la elección de los aparatos más idóneos, sin olvidar que siempre deben de ser aquellos que permitan realizar la operación a menor coste, en lo que influye tanto el precio de los aparatos como su mantenimiento, consumo de energía, minimización de desechos para obtener un buen rendimiento en el material vendible, personal necesario, etc.

Desde el diseño de la planta, habrá que tomar medidas para eliminar, o en todo caso, reducir la emisión de polvos, lodos, producción de ruidos, etc., para que se cumpla con la normativa de Seguridad e Higiene en el trabajo y Medio Ambiente. Las máquinas de fragmentación son un importante foco de polvo y ruido a tener en cuenta.



Generalmente para producir varios tamaños de fosfatos, a partir de un material inicial, es necesario el empleo de varias máquinas de reducción, debido a que cada una de ellas tiene una capacidad de reducción determinada. La reducción se realizará en varias etapas, según la razón de reducción de cada máquina y los rendimientos finales del producto.

La razón de reducción de una máquina o de una operación de fragmentación determinada se expresa como la razón o cociente entre el D_{80} de alimentación y el d_{80} del producto, aunque se puede emplear el cociente de los tamaños máximos.

Los materiales de partida y los productos de las operaciones, se caracterizan por su granulometría, expresada mediante sus curvas granulométricas. Pero para indicar la granulometría de un producto, a veces basta con dar su d_{80} , que expresa el tamaño de la malla que deja pasar el 80% del material, deducido de su curva granulométrica.

Según cada autor, se emplean diferentes criterios para designar las diferentes etapas del proceso de reducción de tamaño. Hücki propuso las siguientes denominaciones:

Etapas en la reducción de tamaño según Hücki

TAMAÑO	DENOMINACIÓN
De infinito a 1 m	Arranque
De 1 m a 100 mm	Trituración primaria
De 100 mm a 10 mm	Trituración secundaria
De 10 mm a 1 mm	Molienda gruesa
De 1 mm a 100 μ m	Molienda fina
De 100 μ m a 10 μ m	Molienda ultra fina
De 10 μ m a 1 μ m	Micronización



Toda operación de fragmentación viene definida por cinco parámetros fundamentales, que en nuestro caso tendrá los valores indicados en la tabla siguiente:

Parámetros de una operación de fragmentación

		primaria
Dimensión máxima de la alimentación	Dmax	150
Granulometría y forma del producto fragmentado	dmax	18
Relación de reducción	$R = D_{\max}/d_{\max}$	6
Producción o Capacidad del circuito	t/h	42,9



2.2.3.1.1. –ENERGIA NECESARIA PARA LA REDUCCION DE TAMAÑO

Conocemos todos los parámetros que caracterizarán la operación menos la energía consumida, que es la energía que se necesita para realizar la operación de fragmentación de los materiales.

La energía necesaria para la reducción de tamaño es un punto muy importante en las operaciones de fragmentación, ya que tiene una influencia teórica en la elección de la maquinaria a emplear, y práctica sobre el coste de energía de la operación.

La fragmentación se basa en la aplicación de una fuerza sobre una partícula, primero se deforma, y cuando se sobrepasa el límite de resistencia se rompe, creándose nuevas superficies que absorben la energía, que se transforma en calor, ruido, etc.

F.C. Bond (1.951) dedujo una teoría que dice: “La energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la nueva longitud creada”. Esto traducido a una fórmula de cálculo es:

$$W = 10 \cdot W_i \cdot ((1 / \sqrt{d_{80}}) - (1 / \sqrt{D_{80}})) =$$
$$= W_i \cdot (1 - 1 / \sqrt{n}) \cdot \sqrt{100 / d_{80}}$$

Donde:

W: energía necesaria por tonelada corta (907,2 Kg.) tratada,

d_{80} : tamaño de malla que deja pasar el 80% del producto,

D_{80} : tamaño de malla que deja pasar el 80% de la alimentación,

n: relación de reducción, D_{80} / d_{80}

Wi: índice de Bond es la magnitud que representa la resistencia del material a ser triturado o molido que depende de la naturaleza del material. Su significado físico es el trabajo necesario para reducir una tonelada corta hasta 100µm.



En la tabla, se muestra algunos de los valores de índice de Bond típicos para la trituración. Estos valores no guardan relación ni con la dureza mineralógica, ni con la resistencia ordinaria a compresión de las rocas. Varían con el tamaño de grano, y por lo tanto, varían de una operación de trituración a una de molienda.

Índices de Bond típicos para operaciones de trituración

SUSTANCIA	ÍNDICE de BOND (kWh/tc)	SUSTANCIA	ÍNDICE de BOND (kWh/tc)
Arenisca	13,1	Cuarzo	12,8
Balasto	20,2	Diorita	20,1
Baritina	4,73	Dolomía	12,8
Caliza	11,1	Esquisto	12,5
Carbón	12,5	Gabro	15,9
Cuarcita	12,9	Granito	15,7

La fórmula de Bond nos da la energía gastada por la maquinaria en la operación de trituración, incluidas todas las pérdidas.

Esta fórmula nos permite estimar la potencia que debe tener el motor de una determinada máquina, para lo cual basta con multiplicar la energía de Bond por las toneladas hora que se van a tratar, obteniendo la potencia teórica necesaria, que hay que multiplicar por un factor de corrección que tenga en cuenta la forma de actuación de la máquina.



Factores de corrección para el cálculo de potencia según la máquina empleada

MÁQUINA	COEFICIENTE de MAYORACIÓN
Machacadoras de mandíbulas	2
Trituradoras giratorias	1,6
Trituradoras de impactos	
Trituradoras giratorias secundarias tipo cono	1,3
Trituradoras de cilindros	
Molinos de barras o bolas	



2.2.3.1.2.- MACHACADORA DE MANDÍBULAS

El criterio fundamental para la elección de una machacadora de mandíbulas es la relación entre el tamaño máximo a tratar y las dimensiones de la boca de la máquina. El tamaño máximo debe ser como mucho el 80% de la dimensión menor de la boca.

Previo a la alimentación hay que tener en cuenta la presencia de materiales tales que:

- su tamaño máximo corresponde a granos poco frecuentes, que habrá que eliminar para no sobredimensionar la machacadora, e impedir el atasco de la boca.
- Materiales que presenten un tamaño inferior al del producto a conseguir, los cuales no es necesario que pasen por el aparato, ya que generarían un exceso de finos, lo que incrementa el consumo de energía. Para evitarlo se puede instalar antes de la trituradora una criba con luz de malla igual a la relación, de forma que el rechazo pase a la máquina mientras el paso se une posteriormente al producto.

La razón de reducción para las machacadoras de mandíbulas va de 2 a 8, y la granulometría de producto esta condicionada por la regulación de la máquina y la naturaleza del material. La regulación o reglaje de una machacadora de mandíbulas es la máxima separación entre los extremos de las mandíbulas.

Como la abertura de salida es rectangular, tiene por dimensiones la longitud de la mandíbula por la regulación, pueden salir partículas con una o dos dimensiones mayores que la regulación. Por eso se debe escoger una regulación menor que el tamaño deseado. En la tabla, se muestran casos típicos orientativos de la regulación, en las máquinas de fragmentación más usuales.



Porcentaje de paso por una malla cuadrada igual al reglaje de los productos de fragmentación primaria y secundaria

TRITURADORAS	ALIMENTACIÓN	GRANITO	CALIZA	CUARCITA
Blake	todo uno cantera	70-75	85-90	65-70
	con rejilla fija previa	65-70	80-85	60-65
	cribada con cuidado	60-70	75-80	55-60
Simple efecto	cribada con cuidado	70-75	80-85	60-65
Giratoria primaria	todo uno cantera	75-80	85-90	65-70
	con rejilla fija previa	70-75	80-85	60-65
Giratoria secundaria	cribada con cuidado	80-85	85-90	75-80
Giratoria secundaria con velocidad	cribada con cuidado	65-70	70-75	65-70

Teniendo en cuenta la tabla, se puede estimar cual va a ser la curva granulométrica del producto de una determinada operación si se conoce el tipo de material y la regulación de la máquina.

Para estimar la capacidad de una determinada machacadora, se puede recurrir a los datos de los fabricantes o a una serie de fórmulas, en este caso emplearemos la fórmula de Giesecking, que tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad (t/h)} = f \cdot \rho_a \cdot l \cdot s \cdot d \cdot n \cdot a \cdot u$$



Siendo:

f: coeficiente dependiente de la naturaleza de las mandíbulas y del tratamiento previo de la alimentación para eliminar finos.

Valores del coeficiente f

CONTENIDO EN FINOS	MANDÍBULAS LISAS	MNADÍBULAS ACANALADAS
Con finos naturales	0,000144	0,000106
Finos eliminados sobre rejilla fija	0,000126	0,000088
Finos eliminados cuidadosamente	0,000108	0,000072

ρ_a : densidad de la alimentación, estimable como el 60% ρ_{real}

l: longitud de la ranura de salida, igual a la longitud de la boca, en mm.

s: reglaje máximo, en cm, entre 15 y el 25% del producto sale hasta un 60% mayor que el reglaje, se tomará el 62,5% del tamaño máximo deseado, que deberá estar entre un tercio y un octavo de la anchura de la boca de admisión.

d: recorrido o amplitud del movimiento, en cm, oscila entre el 25 y 40% del reglaje máximo s. Cuando no se conoce se puede tomar el valor medio de 0,33s.

a: coeficiente dependiente del ángulo de las mandíbulas, cuyo valor es:

$$1 + 0,003 \cdot (26^\circ - \text{ángulo de mandíbulas})$$



n: número de oscilaciones por minuto, igual a las revoluciones por minuto del volante, cuyo valor viene dado por:

$$n = 423 / \text{raíz (d)}$$

u: coeficiente que depende de la forma de alimentación a la machacadora y de la relación del tamaño máximo de grano de dicha alimentación al ancho boca (dimensión menor).

Partiendo de la capacidad que deseamos tenga la machacadora y el tamaño máximo de alimentación, se pueden determinar las dimensiones de la boca de admisión, por las que se designa la machacadora.

Del tamaño máximo de alimentación se determina el ancho de la boca de admisión y a partir de la fórmula de Giesecking para la capacidad se despeja el valor de la longitud de la boca de admisión.

Se buscan los modelos comerciales que cumplen con las características establecidas:

- potencia mínima de 86 CV,
- capacidad de producción 42,9 t/h,
- reglaje de salida de 62,5 mm.

Selecciono la trituradora de mandíbulas de simple efecto o AF: TURBO 1.000x750

Porque:

1- es la más ligera y por lo tanto, la más barata.

2- siendo más sencilla que las tipo Blake, tiene:

- mayor capacidad
- puede hacer reglajes más cerrados consiguiendo triturados más finos, admita mayores relaciones de reducción.



2.2.3.1.2.1. –Trituradora de mandíbulas TURBO 1000x750

Los detalles de construcción a resaltar son:

- Bancada o bastidor: de acero moldeado fundido al horno eléctrico, en acero laminado y electrosoldado: siempre en construcción monolítica, debidamente nervada y arriostrada; con tratamiento térmico de estabilización, que elimina cualquier tipo de deformaciones.
- Biela y testero portamandíbulas, en acero moldeado, fundido al horno eléctrico.
- Eje Excéntrico de acero forjado, aleado, de alta resistencia.
- Mandíbulas de acero al manganeso, reversibles, para su mayor aprovechamiento.

Respecto a los Cojinetes, el eje excéntrico va montado totalmente sobre rodamientos oscilantes, de doble hilera de rodillos, y dotados de cierres laberínticos para hacerlos estancos al polvo.

El engrase se realiza con grasa consistente, mediante engrasadores “Tecalemit”, y bomba a mano. Debido a la capacidad de las cajas, y al dispositivo de válvula de grasa, puede espaciarse notablemente la lubricación.

En la Regulación de apertura es de destacar, que se obtiene por desplazamiento pendular del testero portador de la mandíbula fija, y colocación de los suplementos correspondientes. Con esta disposición, se consigue que todo el mecanismo de accionamiento, para cualquier abertura, permanezca siempre en la misma posición de trabajo.



Dimensiones de la boca (mm)	1.000x750
Abertura máxima de la salida (mm)	200
Producción horaria a máxima abertura (Tn)	200
Velocidad del eje excéntrico (rpm)	250
Potencia del motor en (CV)	100
Polea volante acanalada	8-D-1.600
Polea motor a 1.500 rpm	8-D-270
Peso de la máquina (Kg)	24.000





2.2.3.2. - CLASIFICACIÓN

Para la clasificación de los áridos en la planta de tratamiento se empleará:

- Clasificación Mecánica: para el material entre 25 - 18mm.

El cribado es una operación de clasificación dimensional, es un proceso en el cual una mezcla de partículas es separada en dos o más grupos, según el tamaño de las partículas.

Esta operación se consigue por presentación de los granos sobre superficies perforadas con una abertura D , tal que los granos con unas dimensiones inferiores a D pasarán por las perforaciones, formando parte del “pasante”. Mientras que los granos con alguna dimensión superior a D , son retenidos y evacuados por separado, formando parte del “rechazo”.

La finalidad del Cribado puede ser:

- Separar los fragmentos más gruesos (rechazos) para eliminarlos o enviarlos a una operación de fragmentación, en la que se reduzca su tamaño.
- Separar los fragmentos más pequeños (pasante) para eliminarlos o aglomerarlos,
- Clasificar los productos fragmentados en dimensiones comerciales.

Según el tamaño del material tratado y la finalidad de la operación recibe diferentes nombres.

En la planta se van a realizar operaciones de:

- Cribado: mediante una Cribas vibrante, para clasificar los áridos en los tamaños finales.



La superficie de cribado puede ser:

- Según su construcción: parrillas, chapas perforadas, rejillas o tejidos.
- Según la sección de las aberturas: redondas, cuadradas, hexagonales o rectangulares cortas (calibrado bidimensional), y rectangulares largas (calibrado unidimensional).

La inclinación con que se colocan las superficies de cribado con relación a la horizontal es de gran importancia, pues se modifica la relación entre la abertura nominal y su proyección.

Relaciones de equivalencia entre aberturas

Orificio cuadrado	Superficie plana	Lado	1
	Con pendiente de 30°		1,5
Orificio redondo	Superficie plana	Diámetro	1,25
	Con pendiente de 30°		1,5
Rejillas de ranuras paralelas al sentido del producto		Separación	0,65
Rejillas de ranuras perpendiculares al sentido del producto (45°)			2

Las dimensiones de paso de las parrillas y de las chapas perforadas se expresan en centímetros o milímetros. Pero las telas metálicas se designan de diferentes maneras, bien por el número de mallas por centímetro, o bien, por el número correspondiente a la cantidad de mallas por pulgada lineal. Esta designación no permite calcular el vacío de la malla, que depende del diámetro del hilo o alambre. La norma UNE 7.050 establece la malla y la luz de la misma.



La superficie útil de paso por unidad de superficie total, se expresa en %, variando según la naturaleza de la superficie y la dimensión de las aberturas.

Los criterios de elección de una superficie cribante son, variando de un servicio a otro:

- solidez: debe poseer unas características de indeformabilidad, resistencias al desgaste y a la rotura por fatiga adecuadas. Según el volumen y peso de los granos a cribar se colocan en orden decreciente: parrillas, chapas perforadas o rejillas de hilo grueso.
- Regularidad en las aberturas, disminuye de chapas perforadas, a telas tejidas y por último en parrillas.
- Baja aptitud a las obstrucciones por atascamiento o enclavamiento de los granos.
- Porcentaje elevado de superficie libre de paso: tejidos de hilo fino de alta resistencia (65-75%), tejidos ordinarios (50-65%), chapas perforadas (30-45%) y parrillas (10-75%).

Una vez elegida el tipo de superficie de cribado, hay que determinar cual es el movimiento relativo de la masa granular respecto a dicha superficie. El movimiento de la criba tiene tres funciones principales:

- estratifica el material, ordenando los granos mayores arriba y los pequeños debajo,
- transporta el material por la superficie de cribado,
- mantiene los orificios libres de los tamaños críticos.

En conjunto, el movimiento debe darle al material el máximo de oportunidades para atravesar la superficie, al tiempo que lo transporta sobre ella.

Se escoge como aparato de cribado Cribas Vibrantes. El material a clasificar cae dentro de la criba por un extremo, el movimiento vibratorio lo hace avanzar hacia el otro



extremo, al tiempo que se ordenan por tamaños y los inferiores a la luz atraviesan la superficie.

Para que las partículas pasen rápidamente a través de las aberturas deben de aproximarse lentamente a la superficie de cribado en dirección perpendicular a esta, con un tamaño bastante menor que la abertura.

La capacidad de cribado, independientemente del tamaño de la criba, está en función de:

- Alimentación: el porcentaje de cribado o ritmo de alimentación, influye en la capacidad de cribado, ambos extremos son perjudiciales, no se debe sobrealimentar pero tampoco conviene que sea pequeña.
- Granulometría: el porcentaje de granos con dimensiones críticas (entre 0,75 y 1,5 veces la abertura) condiciona la capacidad de la criba.
- Grado de humedad: la capacidad disminuye con el aumento de humedad hasta el 15-20% porque aumenta la viscosidad de los finos. A partir de este valor se recupera e incrementa la capacidad en el cribado por vía húmeda.
- Forma de los granos: a mayor regularidad y cubicidad, mayor capacidad.

Hay que tener en cuenta que nunca se va a conseguir una clasificación perfecta, aparece el concepto de Eficacia de Cribado, que es la relación de lo que debería pasar por el tamiz y lo que efectivamente ha pasado. Se acepta como normal una eficacia del 85%, lo que significa que el producto retenido contiene un 15% del material que debería haber pasado. La eficacia máxima está en el 95% pero se reduce la capacidad de la superficie cribante en un 20%.

Los factores que influyen en la eficacia de cribado son:

- El movimiento de las partículas durante el cribado: para que las partículas atraviesen la superficie deben aproximarse a las aberturas en dirección perpendicular a estas, lo que en la práctica no se cumple pues se aproximan con



un ángulo de incidencia y rebotan con otro en función de la inclinación de la criba.

- Tamaño crítico de las partículas: cuando la mezcla a clasificar contiene un elevado porcentaje de granos de pequeñas dimensiones respecto a la luz de las aberturas se facilita el cribado. La experiencia demuestra que las partículas críticas son aquellas cuyo tamaño está entre el 75 y 125% de las dimensiones de las aberturas.
- El movimiento de la criba: que estratifica, transporta por su superficie e impide que las partículas de dimensiones críticas se encajen en las aberturas de paso.
- La amplitud y frecuencia del movimiento: deben permanecer dentro de unos valores para no superar los esfuerzos permisibles sobre los puntos de apoyo y cojinetes. Se seleccionan según el tamaño de las aberturas, a mayor tamaño menor frecuencia y mayor amplitud.
- La pendiente de la criba: a mayor inclinación mayor es la velocidad con la que avanza el material, sabiendo que si la velocidad es muy elevada se reduce la eficacia de cribado. Mientras que reduciendo la inclinación se reduce la capacidad de cribado.

Relación óptima entre el tamaño de la abertura y la inclinación de la criba

Tamaño del orificio (mm)	150-100	100-25	64-13	25--3
Inclinación de la criba	20°	18°	15°	10°

Por todo lo expuesto anteriormente, una criba debe tener una amplitud, velocidad y pendiente diferente para cada clasificación en concreto. Hay que prestar mucha atención en las cribas de varios pisos de que todos estos factores sean lo más homogéneos posibles en todos los pisos para no disminuir la eficacia deseada.



Según los cálculos desarrollados, en los que se recoge el método empleado, se obtienen los resultados que aparecen en la tabla siguiente, a partir de la que se hace la selección final de las cribas a instalar.

Las hipótesis planteadas para el cálculo fueron:

- material caliza fosfatada de densidad aparente $1,56 \text{ t/m}^3$
- eficacia del cribado del 90%
- cribado en seco para el corte a 25 y 18mm, sobre criba vibrante inclinada 20° , con una superficie de tejido metálico de alambre de 7mm de diámetro, con abertura cuadrada





2.2.3.3. - FLOTACION

En la producción de fosfatos es necesaria la fase de flotación para concentrar el fosfato. Consiste en una maquina de medio denso en baño tranquilo que consta esencialmente de un cono donde se vierte la carga, en donde se encuentra un medio denso, los productos son arrastrados por el desborde del liquido denso. La fracción hundida se evacua mediante un “air lift”. El giro de unas paletas unidas al eje del cono, así como el aire comprimido introducido, evitan la decantación del medio denso que se utilice.

El tamaño máximo de las partículas de grano a la entrada de la flotación debe ser de 25mm para que las reacciones sean óptimas.





2.2.3.4. - OPERACIONES AUXILIARES

2.2.3.4.1. – ALIMENTADORES

Los alimentadores son aparatos que se coloca bajo la tolva, con la misión de extraer el material que estas almacenan para alimentar a la instalación, de forma continuada, con caudal regular y regulable.

2.2.3.4.2. – *TRANSPORTE (CINTAS TRANSPORTADORAS)*

El transporte continuo por cintas se ha ido implantando en las explotaciones a cielo abierto en las últimas décadas. Las principales ventajas de su utilización frente a otros medios de transporte son:

- bajos costes de operación y mantenimiento,
- accionamiento eléctrico,
- mejor eficiencia energética, del orden del 75%,
- altas capacidades de transporte, independientes de la distancia,
- sistema poco afectado por la climatología,
- facilidad de automatización de las operaciones.

Por el contrario presentan los inconvenientes:

- fuertes inversiones iniciales,
- poca versatilidad para adaptarse a cambios de producción,
- baja disponibilidad en el caso de varias unidades en serie.

Las cintas se pueden clasificar según su movilidad en:

- Fijas o estacionarias: las más populares y de uso más generalizado.
- Ripables o semimóviles: van colocadas sobre bastidores que permiten el desplazamiento mediante equipos auxiliares, de forma que desde cada posición se explota un bloque o módulo.



- Móviles: disponen de una estructura metálica semirrígida, constituida por módulos de unos 25m de longitud, que van montadas sobre transportadores.

Los elementos constructivos de una cinta transportadora son:

- Bastidores: llevan las estaciones de rodillos superiores e inferiores que soportan la banda y demás electos de la instalación;
- Estaciones de cabeza y cola disponen de:
 - o Tambores motrices
 - o Tambores de reenvío
 - o Tambores de tensado
 - o Tambores guía
- Dispositivo de tensado de la banda
- Rodillos:
 - o Del ramal superior soportan la banda cargada, en forma de artesa,
 - o Del ramal inferior soportan el retorno de la bandeja en vacío y
 - o Amortiguadores o de impacto, en la zona de carga, recubiertos de discos de goma para absorber los golpes del material al caer sobre la cinta.
- Banda con forma de artesa en el ramal superior para transportar el producto
- Grupo motriz
- Zona de carga sobre tolva seguida de guiaderas que centran la carga
- Zona de descarga por el tambor delantero, en caída libre si se trata de un apilador o disponiendo de un estrelladero si se descarga sobre otra cinta.
- Sistema de limpieza en el tambor de cabeza y en la zona de cola.

Los datos de partida para el dimensionamiento de una cinta son:

Las características del material a manipular: granulometría, densidad, ángulo de reposo y alterabilidad en diferentes condiciones.

- Tonelaje diario a transportar: máximo y medio.
- Perfil de la ruta de transporte: longitud total y parcial de los tramos rectilíneos; desnivel entre el punto de carga y el punto de descarga, entre los extremos de los



tramos rectilíneos; inclinación de los tramos descendentes y ascendentes del perfil, y la situación de las estaciones motrices.

Los parámetros finales de diseño se concretan en:

- anchura y velocidad de la banda,
- resistencia al movimiento y potencia del accionamiento,
- tensiones máximas,
- tipo de banda.

Las cintas transportadoras como Medio de manipulación: pueden ser planas o cóncavas, y dentro de cada clase pueden estar dotadas de nervios o no.

El ángulo de inclinación de la cinta está limitado por las características del material. La siguiente figura indica, para cada tipo de banda, el ángulo y velocidad recomendadas, y la granulometría más aconsejable.

Las cintas se definen por su capacidad de transporte y por el tamaño máximo de los elementos que transportan.





2.2.3.4.3. – DISTRIBUCION ELECTRICA

Se entiende por sistema de distribución de energía eléctrica a la disposición adoptada por los conductores y receptores, para que la energía pueda ser utilizada en los puntos de consumo.

Fundamentalmente, una distribución puede realizarse en serie (a intensidad constante) o en derivación (a tensión constante). Las características fundamentales de una distribución en derivación son la tensión y el número de conductores utilizados. El principal inconveniente de una distribución en derivación es mantener la tensión de alimentación, a lo largo del circuito. Se minimiza la caída de tensión colocando conductores lo más gruesos posible, tanto como lo permita la economía.

La tensión influye notablemente en la sección de los conductores: “Las secciones están en razón inversa del cuadrado de las tensiones”, es decir, cuanto mayor sea la tensión utilizada en la distribución, menor será el peso de conductor empleado.

En el transporte de energía no existe más limitación de la tensión que la correspondiente a la tecnología de los componentes empleados, pero en distribución el límite es el de la seguridad de las personas que van a manejar los receptores eléctricos. Con la utilización de materiales plásticos, diferenciales, tomas de tierra, etc., se puede llegar a distribuir con tensiones del orden de 220 y 380 V, sin riesgo para las personas.

El transporte se realiza por líneas trifásicas (menor peso de los conductores) a tensiones que no suelen superar los 380 V. La distribución trifásica más interesante es la estrella a cuatro hilos.

Una línea de media tensión, por lo general 10 o 15 kV, alimenta un transformador cuyo primario está conectado en triángulo, y el secundario en estrella. Del centro de la estrella se obtiene el neutro, cuarto conductor conectado a tierra. Esta disposición se utiliza para alimentar receptores trifásicos de gran potencia, conectados en estrella, con o sin neutro.



El sistema de distribución a cuatro hilos es el preferido para una red trifásica. Es aconsejable la utilización de transformadores con conexión Dy o Yz, de manera que cuando la carga esté muy desequilibrada, este desequilibrio tenga menor influencia en el primario del transformador, en la línea y en los generadores.

La distribución trifásica en estrella resulta ser el sistema más económico (su peso es del 75% menos que la monobásica, 71% si lleva neutro, y un 67% menor que la trifásica en triángulo) en lo que a gasto se refiere. Es la que se utiliza, especialmente en los casos de demanda de grandes potencias.

Las redes de distribución están formadas por conductores que, procedentes de centros de transformación (C.T.), tienen la finalidad de alimentar a la parte de instalación comprendida entre la red de distribución y la caja general de protección (C.G.P.), de la que se derivan las líneas repartidoras, que van a parar a un cuarto contador, desde donde parten las derivaciones individuales al interruptor de control de potencia máxima (I.C.P.M.).

Para suministrar la potencia eléctrica necesaria por cada máquina, se deben cumplir ciertos requisitos en lo que a caída de tensión se refiere. Las caídas de tensión máxima admitidas en los distintos tramos de la línea se hallan especificadas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, para su obligado cumplimiento. Para Acometidas derivadas directamente de un centro de transformación es del 5%.

Una red de distribución alimentada por uno solo de sus extremos tiene el inconveniente de que, si por algún motivo, fallara la alimentación al centro de transformación, el propio centro de transformación, o la red de distribución, todo el sector se quedaría sin suministro eléctrico.

Por motivos de seguridad, las redes de distribución forman mallas cerradas, que favorecen el reparto de las intensidades según las cargas de cada momento,



aprovechando mejor las secciones de los conductores, con la consiguiente disminución de las caídas de tensión.

Esta idea de la formación de mallas cerradas se aplica a redes de distribución en baja, media y alta tensión. Las estaciones transformadoras, a 10 o 15 kV, alimentan a los centros de transformación (C.T.), de donde salen las redes de distribución a 220/380V. El principal objetivo es conseguir una gran seguridad en el servicio, así como también obtener una mínima variación en la caída de tensión y un gasto mínimo de cobre y aluminio.

La planta de Tratamiento requiere un suministro suficiente para alimentar a todos los equipos eléctricos a colocar, que tienen una potencia total instalada de 125,37 CV = 92,18 KW.

La acometida eléctrica se realizará mediante una línea de media tensión, que alimentará a un centro de transformación (C.T.) dotado de un transformador de 200KVA para alimentar a la red de distribución.

Para la línea de acometida se empleará (según Norma UNE 21.030), un cable DHV Cu, cuyo conductor tiene una tensión de servicio de 12/20 kV, tripolar de sección 95mm², especial para transporte y distribución de energía de media tensión.



2.2.3.4.4. – ALMACENAMIENTO

2.2.3.4.4.1. – TOLVA

Las tolvas tienen como misión:

- regular las fluctuaciones de la producción de la unidad de carga,
- proteger de impactos al sistema de alimentación, y
- reducir los tiempos de trabajo en vacío

Las dimensiones de las tolvas dependen del tamaño del equipo que descarga sobre ellas, en este caso camiones volquetes que llegan de la cantera y una pala cargadora que suministra material del acopio de reserva. Normalmente se sigue la recomendación de que las tolvas tengan, al menos, una capacidad de dos a tres veces la capacidad del equipo de descarga.

En la planta se dispondrá de una tolva, colocadas en la cabeza del proceso, para recibir directamente el material, y distribuirlo a las máquinas de fragmentación. Como ya se ha descrito en otros apartados:

-Tolva: de 16m^3 , para pasar a la trituradora de mandíbulas TURBO 1.000 x 750 AF a través de un alimentador de Placas AVM.

Ambas tolvas estarán construidas en chapa de acero antidesgaste, con la boca de descarga reforzada. Irán colocadas sobre estructuras metálicas, con zapatas de hormigón armado, con las resistencias necesarias.



2.2.3.4.4.2. - ACOPIOS

Los fosfatos clasificados que salen de las cribas se transportan por cintas transportadoras, cada una de ellas a un acopio diferenciado, a la espera de su empleo final.

Cada uno de los acopios estará diferenciado por tres muros de hormigón armado, de 40cm de espesor. Un muro principal de 30 metros de longitud y 2 metros de altura, paralelo a la instalación de clasificación. Perpendiculares al muro principal se colocarán 2 muros de 10 metros de largo, con una altura descendente desde los 2,5m del principal hasta 1,5m en el extremo opuesto. Tendrán un espesor de 40cm, dejando 10m de separación entre muros consecutivos y los extremos.



2.2.3.4.5. – BASCULA

Bascula para camiones anapesing, de 22x3 metros





2.2.3.4.6. – PALA DE CARGA

Pala Hidromek HMK 370 LC





2.2.3.4.7. – CAMION

Camión MAN con volquete modelo TGA 6x6





2.2.4.- PRESUPUESTO

MOVIMIENTO DE TIERRAS

- m² Desbroce y limpieza del terreno. 3.000m²

Desbroce y limpieza del terreno, profundidad mínima de 25 cm, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.

Total: 0,81€

- m² Excavación de zanjas y pozos. 150m²

Excavación en pozos para cimentaciones en suelo, con medios mecánicos, retirada de los materiales excavados y carga a camión.

Total: 15,7€

CIMENTACIONES

- m³ Zapata de cimentación de hormigón armado. 85m³

Zapata de cimentación de hormigón armado HA-25/B/20/IIa fabricado en central y vertido con cubilote, acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 50 kg/m³.

Total: 141,75€

MAQUINARIA

- Ud. Báscula de pesaje de camiones.

Báscula electrónica de foso para pesaje de camiones con plataforma de rodadura en chapas, capacidad de pesaje de 60.000 Kg. Dimensiones 22x3m. constituida por cuatro vigas principales longitudinales y una central secundaria apoyadas sobre vigas transversales, chapa de rodadura de 10mm. de espesor, 8 células de carga con certificado de ensayo CE herméticas para trabajo a la intemperie, indicador de peso y conexión a ordenador dotado del correspondiente certificado de ensayo CD, totalmente instalada y probada, incluso ejecución de foso y ayudas de albañilería.

Total: 25.426,2€



- Ud. Caseta de control

Caseta de control de pesaje y entrada, prefabricada de 10x5 m.

Total: 11.371,44€

- Ud. Pala cargadora

Pala cargadora marca Hidromek, modelo HMK 730 LC.

Total: 95.371,03€

- Ud. Camión de carga

Camión con volquete marca MAN, modelo TGA 6x6.

Total: 64.547€

- Ud. Vehículo de transporte y para remolque

Toyota Hilux diesel, 144 cv Hilux 2.5 D-4D GX, Cabina Sencilla Industrial.

Total: 21.300 €

- Ud. Remolque cisterna con riego

Equipo a coche todo terreno de 1.000 litros. Con motor de 5.5 CV, bomba de 40 Atm.
Con manguera y cargador.

Total: 2.500€

- Ud. Tolva

Tolva marca Maquiáridos, modelo TM 404020. Capacidad 16m³. Totalmente instalada.

Total: 4.748€

- Ud. Alimentador vibrante

Alimentador vibrante marca Triman, modelo AVT 80. Totalmente instalado y probado.

Total: 4.988,4€



- Ud. Trituradora

Trituradora de mandíbulas de simple efecto modelo marca Turbo, amplitud de boca 1.000x750. Totalmente instalada y probada.

Total: 122.920€

- Ud. Criba

Criba CTV 1.025, con 2 tamaños de 18 y 25mm. Totalmente instalada y probada.

Total: 26.685€

- Ud. Flotación

Cono de flotación Wemco

Total: 20.089€

- Ud. Cinta1

Cinta transportadora de 5m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 2.374€

- Ud. Cinta2

Cinta transportadora de 5m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 2.374€

- Ud. Cinta3

Cinta transportadora de 11m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 4.399€

- Ud. Cinta4

Cinta transportadora de 20m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 4.889,2€



- Ud. Cinta5

Cinta transportadora de 20m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 4.889,2€

- Ud. Cinta6

Cinta transportadora de 20m de longitud y 500mm de anchura. Totalmente instalada y probada por la empresa Kauman S.A.

Total: 4.889,2€

- Ud. Transformador eléctrico

Transformador eléctrico de 200 KVA.

Total: 6.709€

PRESUPUESTO TOTAL:

- MOVIMIENTO DE TIERRAS	4.785€
- CIMENTACIONES	12.049€
- MAQUINARIA	430.470€
- PRESUPUESTO SEGURIDAD Y SALUD	8.521€
 TOTAL	 455.825€
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	27.350€
21% IVA	95.723€
 TOTAL PRESUPUESTO	 578.898€

**ASCIENDE EL PRESUPUESTO A QUINIENTOS SETENTA Y OCHO MIL
OCHOCIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS.**



2.2.5.- VIABILIDAD ECONÓMICA

2.2.5.1.- CALCULO DE LOS AÑOS DE EXPLOTACION DE LA ESCOMBRERA

Con los cálculos volumétricos que aparecen en el apartado 1 del anejo de cálculos, vemos que tenemos un volumen de 461.344m^3 , si la densidad de la roca caliza es de $1,56\text{g/cm}^3$, tendremos aproximadamente **719.696,6 toneladas** en la escombrera.

En la planta se trabajará de lunes a viernes, cerrando sábados, domingos y días festivos.

$365\text{días/año} - (52 \cdot 2) \text{ sábados y domingos} - 14 \text{ días festivos} = 247\text{días/año}$

La planta se ha diseñado para una producción de 300 toneladas de producto diarias, con lo que tendremos una producción anual de:

$$300 \text{ t/día} \cdot 247 \text{ días/año} = \mathbf{74.100 \text{ t/año}}$$

Haciendo la división entre toneladas en la escombrera y las toneladas al año nos salen los años que aproximadamente durará la explotación:

$$719.696,6 \text{ t} / 74.100 \text{ t/año} = \mathbf{9 \text{ años y } 9 \text{ meses}}$$



2.2.5.2.- CALCULO DE LOS BENEFICIOS ANUALES

Estudiando el mercado actual y buscando ser competitivos, estableceremos un precio el primer año de **3,64€/tonelada**, incrementando un 2% cada año en previsión del aumento del IPC

Teniendo la producción anual y el precio del fosfato, obtenemos el beneficio el primer año de:

$$74.100 \text{ t/año} \cdot 3,64\text{€/t} = \mathbf{269.724 \text{ €/año}}$$

Para hacer un cálculo aproximado de los costes, tendremos en cuenta los gastos: los servicios de agua y electricidad, el consumo en combustible del camión, pala y coche, el sueldo de los trabajadores de la planta, así como una partida que irá destinada al mantenimiento, reparaciones sufridas en la maquinaria y otros gastos no previstos.

Una vez calculado y redondeando al alza para prevenir imprevistos, tendremos un coste anual de: **650.000€**



3. –SEGURIDAD Y SALUD



3.1. -OBJETO DEL ESTUDIO



Este Estudio de Seguridad y Salud tiene como objeto la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello; relación de los riesgos laborales que no puedan eliminarse conforme a lo señalado anteriormente, especificando las medidas preventivas y las protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos y valorando su eficiencia. Se contemplan también las previsiones y las informaciones útiles para efectuar en su día, en las debidas condiciones de seguridad y salud, los previsibles trabajos posteriores. Asimismo, se estudian las instalaciones preceptivas de Salud, Sanidad y Bienestar de los trabajadores durante la construcción. Todo ello en obligado cumplimiento de las disposiciones oficiales vigentes, de acuerdo con el Real Decreto 1627/1.997, del 24 de Octubre, por lo que se implanta la obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad y Salud, en su caso, un Estudio de Seguridad y Salud en los proyectos por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

Estas directrices permitirán a la empresa constructora llevar a cabo sus obligaciones en la prevención de riesgos profesionales, facilitando su cumplimiento bajo el control de la Dirección de Obra.



3.2. -RIESGOS



3.2.1. – RIESGOS PROFESIONALES

Atropello por maquinaria y vehículos

Colisiones y vuelcos

Caída a distinto nivel

Desprendimientos

Polvo

Ruido

Golpes contra objetos

Caídas de objetos

Heridas punzantes en pies y manos

Salpicaduras de hormigón en ojos

Erosiones y contusiones en manipulación

Atrapamiento por maquinaria

Salpicaduras

Riesgos producidos por agentes atmosféricos

Riesgos eléctricos

Riesgos de incendios



3.2.2. – RIESGOS DE DAÑOS A TERCEROS

Serán inexistentes puesto que es un terreno poco transitado y además se prohibirá la entrada a toda persona ajena a la obra.



3.3. –PREVENCION DE RIESGOS PROFESIONALES



La organización de los trabajos se hará de forma tal que en todo momento la seguridad sea la máxima posible.

Las condiciones de trabajo deben ser higiénicas y, en lo posible, confortables.

3.3.1. – PROTECCIONES INDIVIDUALES

Cascos: para toda persona que trabaje en la obra, incluidos visitantes.

Guantes de uso general para manejo de materiales agresivos

Guantes de neopreno para trabajos con hormigón

Botas de seguridad para los trabajos de carga y descarga

Botas aislantes para los electricistas

Monos y buzos para todos los operarios

Gafas contra impactos y antipolvo

Gafas para oxicorte

Pantalla de soldador

Mascarilla antipolvo

Protectores acústicos

Chalecos reflectantes para señalistas

Cinturón de seguridad en montaje de instalaciones



3.3.2. – PROTECCIONES COLECTIVAS

Pórticos protectores de líneas eléctricas

Vallas de limitación y protección

Señales de tráfico en viales, accesos y salida de obra

Señales de seguridad en los tajos según los riesgos

Cintas de balizamiento

Balizas luminosas

Jalones de señalización

Tapas para pequeños huecos y arquetas

Topes para desplazamiento de camiones

Extintores para almacenes, locales, etc.

Interruptores diferenciales en cuadros y máquinas eléctricas

Riesgo de zonas pulvígenas

Señales marcha atrás vehículos



3.3.3. – FORMACIÓN

Todo el personal debe recibir, al ingresar en la obra, una descripción de los métodos de trabajo y los riesgos que éstos pudieran entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que deben emplear.

Eligiendo al personal más cualificado, se impartirán cursillos de socorrismo y primeros auxilios, de forma que todos los tajos dispongan de algún socorrista.

Antes del conocimiento de nuevos trabajos específicos se instruirá a las personas que en ellos intervengan sobre los riesgos que van a encontrar y el modo de evitarlos.



3.3.4. – MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS

Botiquines

Se dispondrá de un botiquín conteniendo el material especificado en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Asistencia a accidentados

Se deberá informar el emplazamiento de los diferentes Centros Médicos (Servicios propios, Mutuas Patronales, Mutualidades Laborales, Ambulatorios, etc.) donde debe trasladarse a los accidentados para su más rápido y efectivo tratamiento.

Es muy conveniente disponer en la obra, y en sitio bien visible, de una lista con los teléfonos y direcciones de los centros asignados para urgencias, ambulancias, taxis, etc., para garantizar un rápido transporte de los posibles accidentados a los centros de asistencia.

Reconocimiento médico

Todo el personal que empiece a trabajar en la obra deberá pasar un reconocimiento médico previo al trabajo.

Se analizará el agua destinada al consumo de los trabajadores para garantizar su potabilidad en caso de que no provenga de la red de abastecimiento de la población.



3.3.5. – PREVENCIÓN DE RIESGOS DE DAÑOS A TERCEROS

Se señalizará, de acuerdo con la normativa vigente, el enlace con las carreteras y caminos, tomándose las adecuadas medidas de seguridad que cada caso requiera.

Se señalizarán los accesos naturales a la obra, prohibiéndose el paso a toda persona ajena a la misma, colocándose en su caso los cerramientos necesarios.

Si algún enlace o acceso estuviese afectado por zanjas, se establecerá el correspondiente servicio de precaución, así como las señales de aviso y advertencia que sean necesarias.



3.4. –PLIEGO DE PRESCRIPCIONES



3.4.1. – LEGISLACION SOBRE RIESGOS

Son de obligado cumplimiento:

- Estatuto de los trabajadores
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción
- Real Decreto de 3 de Abril de 1.919. Establecimiento de la jornada de trabajo de 8 horas diarias, con algunas excepciones recogidas en la Real Orden de 15 de Enero de 1.920.
- Ley de Jornada máxima legal de 1 de Julio de 1.931.
- Convenio 119 de la O.I.T., 1.963. Convenio relativo a la protección de la maquinaria.
- Decreto 2413/1973 de 20 de Septiembre. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias MI-BT.
- Ley de Relaciones Laborales de 8 de Abril de 1.976.
- Convenio de la Organización Internacional del Trabajo (O.I.T.) de 20 de Junio de 1.977, ratificado el 24 de Noviembre de 1.980. Convenio sobre la protección de los trabajadores contra riesgos profesionales debidos a la contaminación del aire, el ruido y las vibraciones en el lugar de trabajo.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación (R.D. 3275/12-11-82)
- Ley 4/1983 de 29 de Junio. Establecimiento de la duración máxima del trabajo en 40 horas semanales de trabajo efectivo.
- Real Decreto 863/1985 de 2 de abril. Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.
- Real Decreto 1/1986 de 14 de Marzo. Posibilidad de regulación de las jornadas anuales mediante los convenios colectivos.
- Señalización de Seguridad en Centros de Trabajo (R.D. 1403 de Mayo de 1.986)
- Real Decreto 886/1988 de 15 de Julio. Sobre accidentes mayores en determinadas actividades industriales.



- Real Decreto 1316/1989 de 27 de Octubre. Sobre medidas de protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido y correcciones de errores sucesivas de 9 de Diciembre de 1.989 y 26 de Mayo de 1.990.
- Real Decreto 830/1991, de 24 de Mayo, por el que se modifica el Reglamento de Seguridad en las Máquinas.
- Orden Ministerial de 8 de Abril de 1.991. Instrucción Complementaria MGM-SM-1 del Reglamento de Seguridad en las Máquinas.
- Real Decreto 1407/1992 de 20 de Noviembre. Condiciones de comercialización de los Equipos de Protección Individual (E.P.I.)
- Real Decreto 1.407/1.992, de 20 de Noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual
- Real Decreto 1435/1992 de 7 de Noviembre. Disposiciones de aplicación de la Directiva 89/392/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre Máquinas.
- Real Decreto 1495/1986 de 26 de Mayo. Reglamento de Seguridad en las Máquinas.
- Real Decreto 150/1996. Modificación del artículo 109 del R.G.N.B.S.M.
- Real Decreto 1561/1995 de 21 de Noviembre. Sobre jornadas especiales de trabajo.
- Real Decreto 159/1995 de 3 de Febrero. Modificaciones al Real Decreto 1407/1992.
- Real Decreto 2001/1983 de 28 de Julio. Sobre regulación de las jornadas de trabajo, jornadas especiales y descansos.
- Real Decreto 2291/1985 de 8 de Noviembre. Reglamento de aparatos elevadores (R.A.E.) e Instrucciones Técnicas Complementarias (MIE-RAE).
- Real Decreto 3151/1968 de 28 de Noviembre. Reglamento de Líneas Aéreas de Alta Tensión.
- Real Decreto 3255/1983 de 21 de Diciembre. Estatuto del Minero.



- Real Decreto 3275/1982 de 12 de Noviembre. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación e Instrucciones Complementarias MIE-RAT.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre. Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997 de 17 de Enero. Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 485/1997 de 14 de Abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 486/1997 de 14 de Abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Real Decreto 487/1997 de 14 de Abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
- Real Decreto 576/1997 de 18 de Abril. Modificación del Reglamento General sobre colaboración de las Mutuas de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales de la Seguridad Social.
- Real Decreto 664/1997 de 12 de Mayo. Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- Real Decreto 665/1997 de 12 de Mayo. Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.
- Real Decreto 1389/1997 de 5 de Septiembre. Disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- Real Decreto 1627/1.997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción
- Obligatoriedad de la inclusión de un Estudio de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción (R.D. 1627/1.997, de 24 de Octubre) (BOE 24-10-97)
- Reglamento de Servicios de Prevención, Real Decreto 780/98, de 30 de Abril



3.4.2. – CONDICIONES DE LOS MEDIOS DE PRODUCCION

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se pondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente) será desechado y repuesto al momento.

Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holguras o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente.

El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.



3.4.2.1. –PROTECCIONES INDIVIDUALES

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación del Ministerio de Trabajo (OM 17-5-74) (BOE 29-5-74).

En los casos en que no existe Norma de Homologación oficial serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se pondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente) será desechado y repuesto al momento.

Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holguras o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente.

Toda prenda o equipo de protección individual, y todo elemento de protección colectiva, estará, adecuadamente concebido y suficientemente acabado para su uso, y nunca representará un daño en sí mismo.



3.4.2.2. –PROTECCIONES COLECTIVAS

El área de trabajo debe mantenerse libre de obstáculos, y el movimiento del personal en la obra debe quedar previsto estableciendo itinerarios obligatorios.

Se señalizarán las líneas enterradas de comunicaciones telefónicas, de transporte de energía, etc., así como las conducciones de gas, agua, etc., que puedan ser afectadas durante los trabajos de movimiento de tierras, estableciendo las protecciones necesarias para respetarlas.

Se señalizarán y protegerán las líneas y conducciones aéreas que puedan ser afectadas durante los trabajos de movimiento de las máquinas y de los vehículos. Se deberán señalizar y balizar los accesos y recorridos de vehículos, así como los bordes de las excavaciones.

Por la noche debe instalarse una iluminación suficiente del orden de 120 lux en las zonas de trabajo de 10 lux en el resto. En los trabajos de mayor definición se emplearán lámparas portátiles. Caso de hacerse los trabajos sin interrupción de la circulación, tendrá sumo cuidado de emplear luz que no afecte a las señales de tráfico ni a las propias de la obra.

Los elementos de protección colectiva se ajustarán a las características siguientes:

Redes

Estarán hechas con poliamida y sus dimensiones principales serán tales que cumplan con garantía protectora para la que están previstas.

Vallas

Tendrán como mínimo 90 centímetro de altura, estando construidas a base de tubo metálico y dispondrán de patas de forma que mantengan su verticalidad.



Señalización y balizamiento

Las señales, cintas, balizas y boyas estarán de acuerdo con la normativa vigente.

Topes para desplazamiento de camiones

Se pondrán realizar con tablones embridados fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

Barandillas

Dispondrán de listón superior a una altura de 90 centímetros de suficiente resistencia para garantizar la retención de las personas, y llevarán un listón horizontal intermedio, así como el correspondiente rodapié.

Tapas para pequeños huecos y arquetas

Sus características y colocación impedirán con garantía la caída de personas y objetos.

Interruptores diferenciales y tomas de tierra

La sensibilidad mínima de los interruptores diferenciales será de 30 MA para alumbrado y de 300 MA para fuerza.

Tomas de tierra

La resistencia de las formas de tierra será como máximo la que garantice según la sensibilidad del interruptor diferencial, una tensión máxima de contacto de 24 V.

Extintores de incendios

Serán adecuados en características de agente extintor y tamaño, al tipo de incendio previsible, revisándolos como máximo cada 6 meses.

Riegos

Las zonas de paso de vehículos y maquinaria se regarán convenientemente para evitar levantamiento de polvo.



Anclajes de sujeción del cinturón de seguridad

Tendrán la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos a que puedan estar sometidos de acuerdo con su función protectora.

Pórticos limitadores de gálibo

El dintel estará debidamente señalizado de forma que llama la atención. Se situarán carteles a ambos lados del pórtico anunciando dicha limitación de altura.



3.4.3. – MEDIDAS DE SEGURIDAD GENERALES EN INSTALACIONES DE TRATAMIENTO

La mayor parte de los accidentes ocurridos en las instalaciones de tratamiento de áridos se producen fundamentalmente durante las operaciones de limpieza, ocupando el segundo lugar los ocurridos durante el mantenimiento.

Su origen está en alguna de las causas siguientes:

1. Aprisionamiento en el equipo: debido a una manipulación incorrecta en partes móviles del equipo, accesorios o elementos.
2. Caídas y resbalones:
 - Presencia indebida de materiales y herramientas en escaleras y pasarelas
 - Pavimentos húmedos con manchas de aceites o grasas
 - Alumbrado inadecuado y señalización incorrecta
3. Caídas de objetos y/o productos:
 - Áreas de trabajo inseguras y ausencia de accesorios de protección personal
 - Manipulación incorrecta de materiales
4. Otras formas de accidentes:
 - Contactos en cables eléctricos
 - Incendios
 - Mala visibilidad

Las líneas de actuación de cara a la mejora de las condiciones de seguridad han de orientarse hacia una adecuada formación del personal en relación con la actividad a desarrollar y la incorporación al diseño de las instalaciones de aquellos elementos que



supongan una mejora de las condiciones operativas, de seguridad y ambientales, entre ellos:

- Dispositivos para facilitar la manipulación de los diversos elementos de los equipos
- Reducción o eliminación de puntos de derrame de materiales
- Detectores magnéticos en los puntos de derrame de materiales
- Detectores magnéticos en un punto clave
- Señalización de pulsadores de parada y enclavamiento
- Cables de parada de emergencia en cintas transportadoras o barandillas de protección
- Martillos neumáticos para la fragmentación de bolos
- Plataformas, pasarelas, escaleras, etc., seguras



3.4.4. – MEDIDAS DE SEGURIDAD DURANTE EL

ARRANQUE Y FUNCIONAMIENTO DE LA

INSTALACION DE TRATAMIENTO

- El operador encargado de arrancar la instalación conocerá la secuencia segura y adecuada de puesta en marcha de los distintos equipos que la componen.
- El arranque ha de anunciarse con el adecuado código de señales acústicas y luminosas, conocidas por todo el personal.
- Nunca se pondrá en funcionamiento un equipo o sección de la instalación hasta que no se tenga la seguridad del correcto funcionamiento de los precedentes y de que no existe riesgo para el personal, el cual, ocupará y desempeñará las funciones que le hayan sido asignadas.
- El operador de la trituración primaria cuidará de la descarga de los volquetes, situándose, de ser preciso, delante del vehículo y a su izquierda, para dar las indicaciones pertinentes. Procurará evitar la caída en la tolva de alimentación de bolos que puedan originar atascos, apartándolos para su posterior fragmentación.
- Ningún operario se introducirá en las tolvas de alimentación o máquinas que estén en funcionamiento. En casos de atasco, se utilizarán las herramientas adecuadas desde lugar seguro y si fuera necesario rebasar una protección, se actuará con cinturón de seguridad, hallándose otro operario en el panel de control y dentro del campo visual del primero.
- Nunca se utilizarán las cintas transportadoras como medio de transporte personal, cualquiera que sea su velocidad, ni estará permitido sentarse sobre el borde de los laterales de las cintas, estén o no en movimiento.



- El supervisor cuidará del correcto funcionamiento de la instalación, inspeccionando visualmente desde lugar seguro:

- La fijación de motores, reductores, etc., y el estado de guardas, protecciones y alumbrado.
- El color y la ausencia de humo en todas las partes en movimiento, rodamientos, ejes, etc., así como cables eléctricos.
- El posible deslizamiento de correas de transmisión o cintas transportadoras, así como ruidos anómalos en rodillos, poleas, motores, transmisiones, reductores, etc.
- Los puntos de transferencia de materiales.
- La limpieza se realizará, preferentemente, con la instalación parada, comenzando por los pisos superiores, y en sentido descendente. El área inferior estará acordonada y señalizada para impedir el paso de personas, no dejándose caer ningún tipo de material desde posiciones elevadas.
- Las labores de limpieza que se efectúen con la instalación en marcha sólo estarán permitidas fuera de la zona de influencia de elementos en movimiento.
- Las manchas de aceite o grasa en pavimentos, barandillas, etc., que puedan provocar deslizamientos se cubrirán de serrín y se limpiarán de inmediato.



3.4.5. – NORMAS GENERALES Y PARTICULARES DE SEGURIDAD INDICADAS POR EL FABRICANTE SUMINISTRADOR DE LA MAQUINARIA

Como complemento de las instrucciones comprendidas en cada manual de funcionamiento, reglaje y mantenimiento de cada aparato de la instalación, se han de aplicar las normas siguientes, que son inherentes a las máquinas peligrosas, y sobre las que habrá que instruir al personal de la explotación.

Como complemento de las instrucciones comprendidas en cada manual de funcionamiento, reglaje y mantenimiento de cada aparato de la instalación, se han de aplicar las normas siguientes, que son inherentes a las máquinas peligrosas, y sobre las que habrá que instruir al personal de la explotación.

3.4.5.1.- PRECAUCIONES GENERALES

Las precauciones a seguir para prevenir los accidentes que pueden originar el manejo de las máquinas y aparatos utilizados en la preparación de áridos. Además será necesario tomar las precauciones propias de cada máquina o aparato, expuestas en el párrafo de “Precauciones Particulares”.

Las acciones y gestiones de cada operador son esencialmente en lo concerniente a su propia seguridad y a la de sus compañeros. Cada operador debe conocer perfectamente su cometido, tanto los peligros existentes como las precauciones indispensables a tener en cuenta.



3.4.5.2.- PRECAUCIONES PARTICULARES

La ejecución de todo trabajo impone la utilización de equipamientos especiales: cascos, gafas protectoras, botas de seguridad, guantes, auriculares anti-ruido, mascarillas, etc.

Cada operador debe conocer las normas de mantenimiento y funcionamiento de las máquinas y aparatos que estén a su cargo.

Debe conocer, por tanto, las condiciones de trabajo (a plena carga, temperaturas permitidas...).

Debe conocer también el emplazamiento y funcionamiento de todos los dispositivos, tanto indicadores como de control de alarma, etc., así como la ubicación y funcionamiento de todos los dispositivos de parada de emergencia y equipos de seguridad.

Es aconsejable no estacionarse, si no es necesario, en las zonas peligrosas de la instalación (en las proximidades de la trituradora, a lo largo de las cintas transportadoras, etc.).

3.4.5.3.- PRECAUCIONES COLECTIVAS

Los puestos de trabajo deben de estar siempre perfectamente limpios. Nada de grasa ni aceite en el suelo, ya que hay riesgo de que el personal resbale, así como evitar cualquier utillaje, trapos, cables, piedras, etc., que puedan hacer resbalar.

No sobrecargar las pasarelas o plataformas, más de lo que permite su resistencia.

No hacer funcionar una máquina, inclusive para ensayos, sino está provista de todos los dispositivos de seguridad: cárteres de protección, puertas de visitas cerradas, etc., que aíslan las piezas en movimiento de todo contacto humano e impidan la proyección de las mismas en caso de rotura. Hacer las verificaciones indispensables (ver instrucciones



particulares), antes de la puesta en marcha, asegurándose de que el personal presente esté advertido de la maniobra.

Observar las máquinas mientras funcionan e indicar a los responsables de las mismas todas las anomalías detectadas (comprendidos los ruidos, olores, etc., inhabituales).

Es preciso pensar que un defecto aparentemente sin importancia puede agravarse rápidamente y causar serios disgustos.

No emprender ninguna reparación ni operación de mantenimiento o engrase antes de la parada completa del aparato, tomando las medidas necesarias para que no sea posible la puesta en marcha del mismo mientras dure la operación.

Respecto a este punto, el armario de mando debe de disponer de un seccionador con bloqueo, el cual debe vigilarse cuidadosamente durante la intervención.

Todas las máquinas precisan de un mantenimiento, según las normas dadas por el constructor, para evitar averías que puedan provocar accidentes corporales, ya sea por ellas mismas o por las intervenciones que necesiten.

Las formas oficiales obligan a todos y cada uno de los empleados a tener su material de acuerdo con las normas de seguridad.

Antes de la manipulación de una pieza hay que asegurarse del perfecto estado de los elementos de elevación.

Las empresas suministradoras de la maquinaria no asumen responsabilidad alguna si observan que ha sido incumplida alguna de las normas de seguridad, por parte del que utiliza la maquinaria.



3.4.6. – TOLVA DE RECEPCION. RIESGOS Y SU PREVENCION

Es el receptáculo en el que se vierte el árido procedente de la zona de escombrera.

Riesgos y su prevención:

- a) Caída de vehículos al interior de la tolva al efectuar la maniobra de marcha atrás para descargar.

Medidas preventivas:

1. Construir, a todo lo largo de la zona de descarga, un murete de hormigón que sobresalga unos 35 centímetros del nivel del suelo para que actúe de tope de las ruedas traseras del vehículo. Al construir el murete o realce en el lado de descarga de la tolva, debe considerarse la altura mínima que, respecto del suelo, alcanza la caja del camión al bascular.
2. Mantener limpio y en su nivel primitivo el piso junto al murete o realce, de forma que no quede cubierto por la acumulación de materiales derramados.

- b) Caída de personas al interior de la tolva.

Cuando la abertura de la tolva está al mismo nivel del suelo, o a escasa altura, y existen zonas de tránsito de personas, junto a la abertura de la tolva.

Medidas preventivas:

1. Establecer el cerramiento de la apertura, mediante la construcción de un paramento resistente de obra, en todo el perímetro de la tolva salvo en la zona de descarga de vehículos, que impida la caída accidental al interior de la tolva, de las personas que circulen en su proximidad.



2. Colocar barandillas rígidas, de una altura mínima de 90 centímetros, y cuya resistencia mínima sea de 150 Kg/m lineal, en todo el perímetro de la tolva, salvo en el lado o zona de la descarga de los vehículos.

c) Aplastamiento durante el desatasco de bloques

Debido al vertido incontrolado de un vehículo, estando algún operario situado en el interior de la tolva, o al moverse el material dispuesto en forma inestable en la tolva, estando algún operario en su interior.

Medidas preventivas:

1. La medida básica es la de evitar que los operarios deban situarse en el interior de la tolva para realizar alguna manipulación; a tal fin debe mecanizarse al máximo las operaciones de desatasco, mediante el empleo de ganchos u otros implementos suspendidos que eviten el tener que situar a los operarios en el interior de la tolva.

2. Instalar un sistema de señalización mediante luces, accionado desde el pupitre de mandos para indicar a los conductores de los vehículos, la posibilidad o prohibición de realizar la maniobra para descargar.

3. Al realizar la carga del todo-uno a los vehículos, debe prestarse una especial atención en separar los bloques de dimensiones excesivas que puedan dar lugar a la formación de atascos o de bóvedas.



3.4.7. – ALIMENTADORES. RIESGOS Y SU PREVENCIÓN

Su función es la de extraer y regular el caudal de todo-uno que sale de la tolva. Existen de diversos tipos y sistemas.

Riesgos y su prevención:

Atrapamiento por los elementos en movimiento, tales como:

- Entre ruedas y la pista de rodadura
- Entre espiras de los muelles
- Entre la bandeja y la tolva
- En los volantes

Medidas preventivas:

1. Situar pantallas que impidan el acceso o que aíslen las zonas en que se sitúan los elementos en movimiento, de las zonas o vías empleadas en los desplazamientos normales de los operarios.
2. Cubrir mediante carcasa metálica resistente, de chapa o rejilla, los elementos móviles. Si es de rejilla, ésta debe ser armada y con luz de malla de 1 centímetro de lado como máximo.
3. Prohibición de manipular en los aparatos o dentro del circuito del material estando las máquinas en funcionamiento.



3.4.8. – MAQUINARIA DE FRAGMENTACION. RIESGOS Y SU PREVENCIÓN

En estos equipos se realizarán las operaciones de reducción de tamaño. En la planta se instalará una trituradora de mandíbulas de simple efecto.

Riegos y su prevención:

a) Atrapamiento por volantes de inercia

Medidas preventivas:

1. Tanto los pasillos como las escaleras y demás zonas de circulación del personal deben establecerse suficientemente separadas de las zonas de riesgo, para que no sean posibles los contactos y atrapamientos fortuitos.
2. Colocar pantallas o elementos de cerramiento, que impidan el acceso a la zona en que se sitúan los volantes.
3. Cubrir los volantes mediante carcasa metálica resistente, de chapa o rejilla. Si es de rejilla, ésta será armada y la luz de malla será de 1 centímetro de lado, como máximo.

b) Golpes y contusiones con barras metálicas utilizadas para destacar la boca del triturador

Causas:

Los atascos que se producen en la boca de las machacadoras, suelen presentar dificultades para su eliminación. Por ello es frecuente la práctica de situarse sobre la misma boca y aprovechando el movimiento de la máquina actuar con barras metálicas a fin de variar la posición del bloque que obstruyen la boca.



Medidas preventivas:

Mecanizar al máximo las operaciones de desatasco, mediante el empleo de ganchos, pinzas, cuñas u otros implementos suspendidos, en sustitución de las barras utilizadas a modo de palanca.

c) Proyección de fragmentos de roca

Causas:

Al caer los grandes bloques, desde el alimentador, golpean con las partes metálicas de la trituradora y dan lugar, ocasionalmente, a la proyección de fragmentos. También se producen abundantes proyecciones de fragmentos de roca, durante la trituración, en los molinos de martillos y de impactos, que ocasionalmente salen al exterior.

Medidas preventivas:

1. Situar en una cabina de control los mandos de la instalación de forma que el controlador quede resguardado. La ubicación de la cabina debe ser en un punto en que sean compatibles la necesaria separación de las proyecciones, con la adecuada visualización del proceso.
2. Dotar la boca de la trituradora con un babero abatible de goma que, permitiendo la entrada de los bloques, pueda retener los fragmentos proyectados por la trituración.

d) Caída de personas al interior del triturador

Causas:

Suele producirse por la situación de personas junto o sobre la boca del triturador para desatascarla de algún bloque que la obstruye.

Medidas preventivas:

1. Mecanizar las operaciones de desatasco, mediante el empleo de ganchos, cuñas y otros elementos suspendidos que eviten el que los operarios deban situarse en la boca del triturador.



3.4.9. – CINTAS TRANSPORTADORAS. RIESGOS Y SU PREVENCION

Recoge el material ya fragmentado por las trituradoras, el procedente del precibado, el material desenlodado, para transportarlo a una nueva etapa del proceso.

Riesgos y su prevención:

a) Atrapamiento entre la banda transportadora y los tambores

Causas:

Limpieza del tambor de “cola”, incrustaciones y adherencias, estando la cinta en funcionamiento.

Manipulación en las proximidades de los tambores con la cinta en marcha, para realizar operaciones de limpieza de canaletas, tolvines, etc.

Medidas preventivas:

1. Realizar una eficaz acción de mantenimiento preventivo encaminada a evitar que se produzcan derrames de materiales mojados o pulverulentos que puedan dar lugar a la formación de “crestas” que recubran el tambor de “cola”.
2. Instalar paneles protectores a ambos lados de la cinta, de forma que cubran la zona de atrapamiento. Debe prolongarse a lo largo de la cinta, un metro desde el tambor.
3. Prohibir la manipulación en la proximidad de los tambores, con la cinta en marcha.



b) Caída de personas desde los tramos aéreos de la cinta

Medidas preventivas:

1. Las cintas transportadoras elevadas deben disponer de pasarelas de visita en toda su longitud y en la zona de los mecanismos de accionamiento. La pasarela debe disponer de barandillas y el piso constituido por materiales antideslizantes y ranurado o perforado, de forma que permita una fácil eliminación de las aguas, polvo, etc.
2. Si para realizar, excepcionalmente, alguna operación en el tramo aéreo de una cinta, es preciso colocarse sobre la propia banda, debe utilizarse el cinturón de seguridad, sujetándose al propio bastidor de la cinta, en un punto que no permita el deslizamiento.

c) Caída de materiales transportados

Medidas preventivas:

1. Instalar limitadores de carga que repartan a lo largo de la cinta los montones ocasionalmente producidas por irregularidades en la alimentación.
2. Disponer pantallas protectoras debajo de los tramos en que la cinta sobrevuela zonas de trabajo o de posible paso.
3. Establecer el carenado total de los tramos aéreos de la cinta



3.4.10. – RIESGOS GENERALES

A continuación se consideran aquellos riesgos comunes a todas las máquinas y los atribuibles a las circunstancias en que se desarrolla el proceso y la disposición de la instalación.

3.4.10.1.- CONTACTO ELÉCTRICO DIRECTO E INDIRECTO

Causas:

Generalmente se trata de instalaciones al aire libre sometidas a un ambiente de polvo, caída de piedras, vibraciones.

Medidas preventivas:

1. Los conductores deben estar en perfectas condiciones de aislamiento y situados bajo tubo enterrado o adosado a las paredes, y por ningún concepto sueltos por el suelo.
2. Realizar eficaz acción de mantenimiento sustituyendo aquellos conductores o elementos que presenten roturas o deficiencias de aislamiento, como consecuencia de rozaduras, impactos, etc.
3. Todas las masas metálicas de la instalación, incluso tuberías y estructuras metálicas, estarán conectadas a una red de tomas de tierra. La resistencia de estas tomas será función de la sensibilidad del dispositivo de corte asociado.

3.4.10.2.- ATRAPAMIENTO POR ÓRGANOS MÓVILES DE LAS TRANSMISIONES

Causas:

Presencia de abundantes elementos de transmisión (poleas, correas, engranajes, reductores, ejes, acoplamientos, etc.) de elevada potencia y considerables dimensiones, junto a zonas de tránsito.



Medidas preventivas:

1. Colocar elementos de cerramiento que impidan el acceso a las zonas en que se sitúan los elementos en movimiento.
2. Cubrir los elementos móviles con carcasa metálica resistente de chapa o rejilla. Si es de rejilla, ésta será armada y con luz de malla de 1 centímetro de lado, como máximo.
3. No debe manipularse los aparatos o instalaciones hasta cerciorarse que su detención sea total y completa; a tal efecto debe tenerse presente la inercia de sus componentes.

3.4.10.3.-CAÍDAS A DISTINTO NIVEL

Causas:

Este tipo de instalaciones suelen estar montadas en “cascada” aprovechando los desniveles del terreno. Por ello existen una serie de plataformas o pisos enlazados a través de rampas, pasarelas o escaleras, en las que se deposita polvo, fragmentos de piedra, barro, etc.

Medidas preventivas:

1. Cerrar el perímetro abierto de las plantas o pisos, pasarelas, rampas y escaleras, mediante la colocación de barandillas reglamentarias.
2. Realizar frecuentes limpiezas de las acumulaciones de polvo, fragmentos pétreos y otros materiales depositados sobre el suelo especialmente en las zonas de paso obligado.
3. Tras las operaciones de mantenimiento dejar el área afectada libre de cuerdas, cables, restos de grasa, aceites, piezas y otros materiales que obstaculicen la circulación.

3.4.10.4.-ELEVADO NIVEL SONORO

Causas:

Las condiciones y sistemas de trituración de que dispone la industria en la actualidad son por su trabajo eminentemente ruidosos.



Medidas preventivas:

1. Centralizar los mandos de la instalación en una cabina insonorizada, desde la que se pueda visualizar todo el proceso.
2. La utilización de elementos de protección auditiva será obligatoria en los casos en que los operarios deban situarse en los puntos con elevado nivel sonoro.

3.4.10.5.-INHALACIÓN DE POLVO

Causas:

Al tratarse de procesos de fragmentación, se obtienen partículas de considerable finura, que se integran en un circuito que las mantiene en movimiento y con frecuentes saltos en el aire (entrega de canaleta a cinta, entre cintas,...).

Medidas preventivas:

1. Centralizar los mandos de la instalación en una cabina dotada de sistema de renovación de aire filtrado.
2. Carenado total del circuito, e instalación de captaciones localizadas en las propias máquinas y en aquellos puntos en que el material es sometido a saltos en el aire.
3. La utilización de mascarillas con filtro mecánico contra polvo, será obligatoria en los casos en que los operarios deban situarse en los puntos conflictivos.



3.4.11. – OPERACIONES DE MANTENIMIENTO

El mantenimiento de las instalaciones supone, en muchas ocasiones, el realizar trabajos en condiciones muy extremas, por cuanto debe trabajarse al aire libre y en posiciones dificultosas o inestables, en ambientes de polvo, barro, con bajas temperaturas, etc., y utilizando piezas y herramientas especiales y/o muy pesadas. Para facilitar estas operaciones es básico el disponer de adecuados medios mecánicos de elevación y sustentación, que permitan reducir al mínimo la manipulación manual.

Es igualmente importante establecer un código de señales para estos movimientos. Puesto que los distintos aparatos de una instalación, frecuentemente, se encuentran distanciados y no siempre son visibles todas sus partes desde la cabina control, debe establecerse un sistema que garantice la imposibilidad de puesta en marcha de algún aparato mientras se realizan trabajos de mantenimiento. Considerando que desde la cabina generalmente se puede controlar el funcionamiento de todos los aparatos, éstos deberían disponer de un sistema de enclavamiento, de forma que el paro de uno de ellos suponga el paro de todos los anteriores, e igualmente el ciclo de puesta en marcha sea progresivo a partir del último elemento de la instalación. Conjuntamente con el sistema anterior, cada aparato debe disponer “in situ” de un sistema de desconexión del motor en cuestión, mediante llave que debe quedar en poder del operario que efectúe el trabajo y en tanto dure este.



3.4.12. – SERVICIOS DE PREVENCIÓN

3.4.12.1.- SERVICIO TÉCNICO DE SEGURIDAD Y SALUD

El contratista dispondrá por sus propios medios o por medios externos de asesoramiento en Seguridad y Salud e Higiene para cumplimiento de los apartados A y B del Artículo 11 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Todos los operarios deben recibir, al ingresar en la obra, una exposición detallada de los métodos de trabajo y de los riesgos que pudieran entrañar, juntamente con las medidas de prevención y protección que deberán emplear.

Para ello se impartirán a todos los operarios un total de cinco (5) horas lectivas de Seguridad e Higiene en el trabajo. En dichas horas, además de las Normas y Señales de Seguridad concienciándoles en su respeto y cumplimiento, y de las medidas de Higiene, se les enseñará la utilización de las protecciones colectivas, y el uso y cuidado de las individuales del operario.

3.4.12.2.- SERVICIO MÉDICO

La Empresa Constructora dispondrá de un servicio Médico de Empresa, propio o mancomunado.

Todos los operarios que trabajen en la obra objeto de este contrato deberán pasar un reconocimiento médico previo a su admisión.

Si el agua disponible no proviene de la red de abastecimiento de la población, se analizará, para determinar su potabilidad, y ver si es apta para el consumo de los trabajadores.



El botiquín se encontrará en local limpio y adecuado. Estará señalizado convenientemente el propio botiquín y existirá en el exterior una señalización de indicación de acceso al mismo. El botiquín se encontrará cerrado pero no bajo llave o candado para no dificultar el acceso a su material en caso de urgencia. Las personas que lo atiendan habitualmente, además de los conocimientos mínimos precisos y su práctica, estarán preparadas en caso de accidente, para redactar un parte de botiquín que, posteriormente, con más datos, servirá para redactar el parte interno de la empresa, y ulteriormente, si fuera preciso, como base para la redacción del parte oficial de Accidente.

La persona habitualmente encargada de su uso repondrá, inmediatamente, el material utilizado. Independientemente de ellos se revisará mensualmente el botiquín, reponiendo o sustituyendo todo lo que fuera preciso.

3.4.12.3.- COMITÉ DE SEGURIDAD Y SALUD

Se constituirá un Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo, cuyas obligaciones y formas de actuación serán las que señala al O.G.S.H.T. en su artículo 8.

Su composición será la siguiente:

Presidente: El Jefe de Obra o persona que designe.

Vicepresidente: El Técnico de Seguridad de la Obra

Secretario: Un administrativo de la obra



3.4.13. – VIGILANTE DE SEGURIDAD

El contratista nombrará un –vigilante de Seguridad que será o un técnico del Servicio Técnico de Seguridad e Higiene, ya mencionado, o un monitor de seguridad o socorristas de los que se citó al hablar de Formación del Personal. En todo caso, será persona debidamente preparada para estas materias. El Vigilante de Seguridad tendrá a su cargo los cometidos que siguen:

Promover el interés y cooperación de los operarios en orden a la Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Comunicar por orden jerárquico, o, en su caso, directamente al empresario, las situaciones de peligro que puedan producirse en cualquier puesto de trabajo, y proponer las medidas que, a su juicio, deban adoptarse.

Examinar las condiciones relativas al orden, limpieza, ambiente, instalaciones, máquinas, herramientas y procesos laborales de la empresa, y comunicar al empresario la existencia de riesgos que puedan afectar a la vida o salud de los trabajadores, con objeto de que sean puestas en práctica las oportunas medidas de prevención.

Prestar como cualquier monitor de seguridad o socorrista, los primeros auxilios a los accidentados y proveer cuando fuera necesario para que reciban la inmediata asistencia sanitaria que el estado o situación de los mismo pudiera requerir.

Las funciones del Vigilante de Seguridad serán compatibles con las que normalmente presta en la empresa el operario designado a tal efecto.



3.4.14. – INSTALACIONES MEDICAS

Se dispondrá de un local destinado a botiquín central, equipado con el material sanitario necesario y clínico para atender cualquier accidente, además de todos los elementos precisos para que el A.T.S. desarrolle su diaria labor de asistencia a los trabajadores y demás funciones necesarias para el control de la sanidad en la obra.

La obra contará también con el servicio de una ambulancia del tipo de dos plazas, y para dos camillas. Será obligatoria la existencia de un botiquín de tajo en aquellas zonas de trabajo que estén alejadas del botiquín central, para poder atender pequeñas curas, dotado con el imprescindible material, actualizado.



3.4.15. – INSTALACIONES DE SEGURIDAD Y SALUD

Las instalaciones provisionales de obra se adaptarán en lo relativo a elementos, dimensiones y características a lo especificado en los Artículos 39, 40, 41 y 42 de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene, y 335, 336 y 337 de la Ordenanza Laboral de la Construcción.

El cumplimiento de los citados artículos, la obra dispondrá de locales para vestuario, servicios higiénicos y comedor debidamente dotados: vestuario con taquillas individuales con llave, asientos e iluminación; servicios higiénicos con calefacción, un lavabo con espejo y una ducha, con agua caliente y fría, por cada 10 trabajadores y un W.C. por cada 25 trabajadores; el comedor dispondrá de mesas, asientos, pila lavavajillas, calienta comidas y calefacción para el invierno; para la limpieza y conservación de estos locales se dispondrá de un trabajador; se precisa un recipiente con tapa para facilitar el acopio y retirada de los desperdicios y basuras que genere durante las comidas el personal de la obra.



3.4.16. – PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD

El Contratista estará obligado a redactar un Plan de Seguridad adaptando este estudio a sus medios y métodos de ejecución.

Éste será revisado y aprobado por la Dirección de Obra, que controlará su aplicación práctica.

Se incluirá en el mismo la periodicidad de las revisiones que han de hacerse a los vehículos y maquinaria asignada a la obra.



3.4.17. – ABONO DE LAS UNIDADES DE OBRA

Las distintas unidades se abonarán a los precios de ese Estudio o, en su caso, a los que figuran en el Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo aprobado por la Administración que considerará documento del contrato a estos efectos.



3.5. –PRESUPUESTO



3.5.1. – PROTECCIONES INDIVIDUALES

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Casco de seguridad	10	3,6	36 €
Protectores auditivos	10	24	240 €
Guantes de uso general	20	4,02	80,4 €
Botas de seguridad	20	21,68	433,6 €
Mono de trabajo	10	14,45	144,5 €
Gafas antipolvo	10	3,16	31,6 €
Mascarilla antipolvo	10	0,62	6,2 €
Cinturón de seguridad	10	19,07	190,7 €

TOTAL PROTECCIONES INDIVIDUALES	1163 €

3.5.2. – PROTECCIONES COLECTIVAS

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Señal de seguridad 420mm	4	7,27	29,08 €
Cartel indicativo de riesgo	5	31,56	157,8 €
Cinta de balizamiento	500	0,08	40 €
Conos de 50cm de altura	20	5,57	111,4 €

TOTAL PROTECCIONES COLECTIVAS	338,28 €



3.5.3. – PROTECCIONES CONTRA INCENDIOS

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Extintor de polvo 6kg.	2	31,75	63,5 €

TOTAL PROTECCIONES CONTRA INCENDIOS	63,5 €

3.5.4. – INSTALACIONES DE HIGIENE Y BIENESTAR

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Radiador infrarrojo 1000W	1	35,25	35,25 €
Recipiente de recogida de basuras	1	6,75	6,75 €
Caseta monobloque vestuarios	1	3014,25	3014,25 €
Caseta para servicios	1	3225	3225 €

TOTAL INSTALACIONES DE HIGIENE	6281,25 €

3.5.5. – MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS

AUXILIOS

CONCEPTO	UNIDADES	PRECIO UNIDAD	TOTAL
Reconocimiento medico	10	35	350 €
Botiquín instalado en obra	2	55	110 €
Camilla para emergencias	1	214,86	214,86 €

TOTAL MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS	674,86 €



3.5.6. – PRESUPUESTO DE SEGURIDAD Y SALUD

TOTAL PROTECCIONES INDIVIDUALES	1163 €
TOTAL PROTECCIONES COLECTIVAS	338,28 €
TOTAL PROTECCIONES CONTRA INCENDIOS	63,5 €
TOTAL INSTALACIONES DE HIGIENE	6281,25 €
TOTAL MEDICINA PREVENTIVA Y PRIMEROS AUXILIOS	674,86 €
TOTAL	8520,89 €

Asciende el presente proyecto de Seguridad e Higiene a la cantidad de:

**OCHO MIL QUINIENTOS VEINTE EUROS CON OCHENTA Y NUEVE
CÉNTIMOS.**



4. – IMPACTO AMBIENTAL



4.1. – INTRODUCCIÓN



La Evaluación del Impacto Ambiental, es un proceso destinado a prever e informar sobre los efectos que un determinado proyecto puede ocasionar en el medio ambiente. En este sentido, la evaluación del impacto ambiental se enmarca en un proceso más amplio, unido enteramente a la toma de decisiones sobre la conveniencia o no de un proyecto concreto.

En el caso del presente proyecto, es necesario realizar una evaluación del impacto ambiental, ya que se debe definir el alcance del mismo sobre el medio, durante y tras la ejecución de las obras.

Dentro de esa definición genérica de Evaluación del Impacto Ambiental, hay que diferenciar dos conceptos:

- Estudio del Impacto Ambiental (E.I.A.). Son los trabajos encaminados a predecir las consecuencias que se deriven de la ejecución del proyecto sobre el medio ambiente, y establecer medidas correctoras.
- Declaración del Impacto Ambiental (D.I.A.). Es el dictamen resultante del procedimiento administrativo de evaluación del impacto ambiental.

Para hacer constar la diferencia entre estos dos conceptos vale decir que mientras que el estudio de impacto ambiental tiene por objeto predecir las posibles alteraciones del medio, la declaración del impacto ambiental pretende recoger los resultados de dicho estudio así como establecer las condiciones para la protección del medio ambiente.

Según la normativa vigente en la CEE, deben ser identificados, descritos y evaluados de forma apropiada los efectos directos e indirectos de cualquier proyecto sobre distintos factores, que son, por un lado el hombre, la fauna y flora; por otro lado el suelo, el aire, agua, clima y paisaje y finalmente el impacto sobre los bienes materiales y el patrimonio cultural.



En España, la legislación minera y ambiental trata de marcar unas reglas y procedimientos que regulen las actividades extractivas del sector minero.

La extracción de los recursos naturales de carácter agotable se hacía, hasta épocas recientes, bajo criterios exclusivamente técnicos y económicos, sin la consideración de los posibles impactos ambientales que se producen en los ecosistemas y, consecuentemente, sin la aplicación de precauciones o medidas preventivas y correctoras para minorarlos o eliminarlos.

La Ley de Minas del 21 de Julio de 1.973 y su Reglamento, que fue aprobado por el Real Decreto 2857/ del 23 de Agosto, establece el régimen jurídico de la investigación u aprovechamiento de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos, en el que se considera necesaria la protección del medio ambiente, para poder otorgar una autorización de exploración o una concesión de explotación.

Los trabajos de proyecto y ejecución de la restauración de los terrenos afectados por actividades mineras, comienzan con la aparición de las siguientes disposiciones:

- Real Decreto 2994/1982, del 15 de Octubre, sobre restauración del Espacio Natural afectado por Actividades Extractivas.
- Real Decreto 1116/1984 de 9 de Mayo, sobre Restauración del Espacio Natural afectado por explotaciones de carbón a cielo abierto y el aprovechamiento racional de estos recursos energéticos.

Después se han publicado órdenes y normas que desarrollan los citados Reales Decretos, así como las disposiciones legales en diversas Comunidades Autónomas y Entes Locales.

Real Decreto 1.131 de 30 de Septiembre de 1.988, fecha en que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de Junio,



de Evaluación de Impacto Ambiental que afecta tanto a proyectos públicos como a los privados recogidos en su anexo.

En la actualidad, se dice que la dispersión normativa, la confusa interpretación de algunos conceptos según determinadas circunstancias, la falta de coordinación entre las disposiciones en vigor, la delimitación de competencias entre las distintas Administraciones existentes y la normativa sobre ordenación del territorio, impiden una visión clara de las prioridades.

La normativa específica para nuestro país puede resumirse, hasta el momento, en las siguientes disposiciones legales que pueden consultarse:

- Decreto 2414/1961, de 30 de Noviembre, por lo que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Ley 38/1972, de 22 de Diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Ley 22/1973, de 21 de Julio, de Minas.
- Ley 42/1975, de 19 de Noviembre, sobre Desechos y Residuos Sólidos Urbanos.
- Reglamento General para el Régimen de la Minería (Real Decreto 2857/10978, de 25 de Agosto).
- Real Decreto 2994/1982, del 15 de Octubre, sobre restauración del Espacio Natural afectado por Actividades Mineras.
- Ley 29/1985, de 2 de Agosto, Ley de Aguas.
- Reglamento de Normas Básicas de Seguridad Minera de 1.985.



- Ley 20/1986, de 14 de Mayo, Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.
- Real Decreto Ley 1302, de 28 de Junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Real Decreto 1131/1988, de 30 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 22/1988, Ley de Costas.
- Real Decreto 886/1988 sobre la prevención de accidentes mayores en determinadas actividades industriales.
- Ley Orgánica 9/1992 de transferencia de competencias a las Comunidades Autónomas (La Constitución Española).
- Otras leyes, decretos, convenios, reglamentos y directivas de Administraciones Autonómicas o Locales que afectan a aspectos específicos.

La Ley de Minas, de 21 de Julio de 1.973, otorga a los recursos mineros la condición de bienes de dominio público (artículo 2) y puntualiza que las actividades extractivas deben llevarse a cabo desde una perspectiva ambiental que proteja al medio donde se desarrollan (artículo 5).

El Real Decreto 2994/1982, del 15 de Octubre, sobre Restauración del Espacio Natural afectado por Actividades Mineras, define el Proyecto-Plan de Restauración del Espacio Natural, que debe redactarse y tramitarse conjuntamente con el resto de la documentación del expediente de la autorización o de la concesión en su caso, plan que debe ser objeto de aprobación antes de otorgarse cualquier autorización de aprovechamiento o concesión de explotación.



Los Planes de Restauración para las explotaciones, según el texto legal, han de contener los siguientes aspectos:

- a) Información detallada del área prevista para la explotación y su entorno (definición del medio físico, socioeconómico y de las características del aprovechamiento minero previsto, así como de sus servicios e instalaciones). Definición de los planos correspondientes.
- b) Medidas previstas para la restauración del espacio natural afectado (acondicionamiento de la superficie del terreno, medidas para evitar la posible erosión, protección del paisaje, estudio del impacto ambiental de la explotación sobre los recursos naturales, proyecto de almacenamiento de las estructuras residuales y sistemas previstos para paliar el deterioro ambiental por estos almacenamientos).
- c) Calendario de ejecución y coste estimado de los trabajos de restauración.

Como anexo al Plan de Restauración debe incorporarse, el correspondiente proyecto técnico relativo al almacenamiento de los residuos mineros que se puedan generar. Estudio de estabilidad de las escombreras de más de 25.000 m³ o 15 metros de altura, así como de toda balsa de lodos o presa de residuos y los sistemas previstos para paliar el deterioro ambiental.

El Reglamento de Actividades clasificadas como Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas, del 30 de Noviembre de 1.961, en su artículo 20, regulaba las repercusiones para la sanidad ambiental y proponía sistemas de corrección.

La Orden del Ministerio de Industria, de 18 de Octubre de 1.976, para proyectos de nuevas industrias potencialmente contaminadoras de la atmósfera y ampliación de las existentes, establece que dicho Ministerio podrá exigir un estudio de impacto, al objeto de enjuiciar las medidas correctoras previstas.



Posteriormente se aprobó el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, según Real Decreto 1131/1988, de 30 de Septiembre, en el que se desarrolla el procedimiento administrativo aplicable a la Evaluación de Impacto Ambiental de los proyectos públicos o privados, comenzando a partir de la fecha de su publicación la obligación de su aplicación a los proyectos que se describen en el Anexo de este Real Decreto.

El Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, en el punto 12 de su Anexo 2, concreta que están sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental los proyectos de extracción a cielo abierto de hulla, lignito u otros minerales correspondientes a recursos geológicos de las Secciones A, B, C y D cuyo aprovechamiento esté regulado por la Ley de Minas y normativa complementaria, cuando se dé alguna de las circunstancias siguientes:

- Explotaciones que tengan un movimiento total de tierras superior a $200.000\text{m}^3/\text{año}$.
- Explotaciones que se realicen por debajo del nivel freático, tomando como nivel de referencia el más elevado entre las oscilaciones anuales o que puedan suponer una disminución de la recarga de acuíferos superficiales o profundos.
- Explotaciones de depósitos ligados a la dinámica fluvial, fluvio-glacial, litoral o eólica y depósitos marinos.
- Explotaciones visibles desde autopistas, autovías, carreteras nacionales y comarcales o núcleos urbanos superiores a 1.000 habitantes o situados a distancias inferiores a 2 kilómetros de dichos núcleos.
- Explotaciones situadas en espacios naturales protegidos o en un área que pueda visualizarse desde cualquiera de los límites establecidos o que supongan un menoscabo a sus valores naturales.



- Explotaciones de sustancias que puedan sufrir alteraciones por oxidación, hidratación, etc., y que induzcan, en límites superiores a los incluidos en las legislaciones vigentes, a acidez, toxicidad u otros parámetros de concentraciones tales que supongan un riesgo para la salud humana o al medio ambiente, como las menas con sulfuros, explotaciones de combustibles sólidos, explotaciones que requieran tratamiento por lixiviación in situ y minerales radiactivos.

- Extracciones que aún no cumpliendo ninguna de las condiciones anteriores, se sitúen a menos de 5 kilómetros de los límites previstos de cualquier concesión minera de explotación a cielo abierto existente.

Asimismo, están sujetas al presente Reglamento toda obra, instalación o actividad secundaria o accesorio incluida en el proyecto de explotación minera a cielo abierto. Donde quedaría incluida la Planta de Tratamiento proyectada.

Existe una legislación específica que regula los límites básicos tolerables de presencia en la atmósfera de contaminantes y que son recogidos en la siguiente reglamentación:

- Ley 38/1972, del 22 de Diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Decreto 833/1975, del 6 de Febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, del 22 de Diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Real Decreto 1613/1985, del 1 de Agosto, por el que se modifica parcialmente el decreto 833/1975, del 6 de Febrero, y se establecen formas de calidad del aire en lo referente a contaminación por óxido de azufre y partículas.
- ITC 07.1.04., publicada con fecha del 30 de Enero de 1.991 en el BOE número 260 y que entró en vigor el 30 de Octubre de 1.992 y por la que se regulan las condiciones ambientales y de lucha contra el polvo en las industrias extractivas a cielo abierto, instalaciones de tratamiento procesad, manipulación y almacenamiento de minerales, áridos y rocas industriales.



Las obras de carácter extractivo, conllevan una serie de factores que pueden ser de notoria incidencia en el medio ambiente. Ante la creciente sensibilidad en la protección del mismo, se hace obligatoria la realización de un estudio detallado en el que se analicen las repercusiones de la obra a ejecutar, que incidan negativamente en el entorno.

Los objetivos del estudio son:

- Valorar y analizar el entorno del proyecto desde el punto de vista ambiental.
- Definir la naturaleza y dimensión de los efectos, tanto positivos como negativos originados por la ejecución de la obra.

Para el proceso de identificación de Impactos Ambientales se ha optado por seguir pasos metodológicos que se detallan a continuación:

Primero la elaboración de una lista de chequeo específica que refleje los posibles impactos que sobre el medio producen las acciones derivadas de la ejecución, puesta en marcha y explotación del proyecto.

Después se establecerán las implicaciones tanto ecológicas como paisajísticas que dichos impactos producen, tratando de caracterizarlos de una forma cualitativa, mediante el empleo de unas matrices que servirán para realizar un primer dictamen sobre las repercusiones a que dan lugar.

Por último, se analizarán las características de cada impacto, se definen una serie de medidas correctoras y se elabora un programa de Control y Vigilancia Ambiental.



4.2. – IDENTIFICACION

Y VALORACION DE

IMPACTOS



4.2.1. – IDENTIFICACION DE IMPACTOS

A medida que el proyecto avanza se pueden predecir los posibles impactos con mayor facilidad, pero por otro lado, también resulta más complicado corregirlos.

Dentro del proyecto se han diferenciado también dos fases para determinar los impactos, que son:

- Fase de construcción. Abarca el periodo de duración de las obras.
- Fase de explotación. Abarca desde el final del proyecto en adelante.

Fase de construcción.

Ruidos o incremento de niveles sonoros y partículas en suspensión.

Se producirán impactos sonoros y emisión de partículas durante la fase de construcción debido a la maquinaria empleada.

Geología y geomorfología

Debido al carácter superficial de la obra, la geología de la zona no se verá afectada en absoluto.

En todo caso estas acciones supondrán un impacto mínimo.

Hidrología superficial y subterránea.

Este es un fenómeno exclusivo de esta fase de construcción, y afectará principalmente en:

Impermeabilización de superficies.

Vertidos accidentales.

Suelos.

Los efectos más importantes que se producen en esta fase son dos, la destrucción directa del suelo y la compactación del mismo.



Vegetación.

No existirá impacto sobre la vegetación, sólo afectará el polvo que pueda caer sobre las hojas, hecho que tratará de evitarse y corregirse.

Fauna.

Se producirá un efecto sobre la fauna en la fase de construcción, debido a la actividad humana, pero será insignificante y además sólo será en el entorno más cercano.

Paisaje.

En la fase de construcción el impacto visual será prácticamente nulo, ya que no se va a variar el paisaje de la escombrera y a que la escombrera se encuentra en una vaguada por lo que está bastante oculta a la vista.

Demografía.

En esta fase los impactos sobre el medio humano se pueden considerar despreciables, por ser casi inexistentes.

Fase de explotación.

Ruidos o incremento de niveles sonoros y partículas en suspensión

Son los dos factores que deberemos tener más en cuenta e intentar minimizar en la medida de lo posible, ya que son los más molestos y los que más se van a producir en nuestra instalación.

Suelos.

En la fase de explotación el efecto sobre el suelo será debido a un cambio de uso, ya que pasará de ser un terreno sin ninguno uso (como es una escombrera abandonada) a ser un espacio que en un futuro y una vez acabada la explotación, pudiera utilizarse como lugar de ocio.



Fauna.

El impacto sobre la fauna en la fase de explotación es insignificante.

Paisaje.

El impacto sobre el paisaje se manifiesta con un cambio de valor visual debido a la introducción de nuevos elementos y acondicionamiento de otros ya existentes.

De todas formas el impacto sobre el paisaje, si bien es inevitable constituye también una mejora favorable para el entorno, dado que la escombrera va a desaparecer y se van a poder recuperar espacios naturales.

Todos los impactos indicados tienen una serie de parámetros e indicadores que permiten su cuantificación y seguimiento:

- Ruidos y vibraciones. (Decibelios)
- Geomorfología y geología. (m^3)
- Hidrología superficial y subterránea.
- Suelo. (m^2)
- Fauna. (Especies)

Los impactos determinados en la obra serán los siguientes:

- Ruidos de maquinaria.
- Partículas en suspensión.
- Alteraciones edafológicas.
- Intrusión visual de la nueva obra.



4.2.2. – VALORACION DE IMPACTOS

Según la normativa para Cantabria en el Decreto 50/1.991 para la Estimación de Impacto Ambiental, los impactos se clasifican en las siguientes categorías:

NADA SIGNIFICATIVO: Impacto insignificante, fácilmente recuperable con el cese de la actividad. No serán necesarias medidas correctoras de entidad.

POCO SIGNIFICATIVO: Necesitará un tiempo para su reversión.

SIGNIFICATIVO: Requiere medidas correctoras con un periodo largo para su reversión.

MUY SIGNIFICATIVO: Es superado el umbral de acogida, se produce pérdida de capacidad ambiental irreversible, aún con medidas correctoras.

Para caracterizar los impactos se estudiarán ciertas variables que son las siguientes:

Sentido o flujo.

Efecto positivo. Efecto sobre el sumatorio de parámetros con excedente sobre el valor medioambiental.

Efecto negativo. Efecto sobre el sumatorio de parámetros con déficit sobre el valor medioambiental.

Reversibilidad.

Efecto reversible. De forma natural la alteración es asimilada por el medio.

Efecto irreversible. No se logrará recuperar nunca el equilibrio inicial por parte del medio natural.



Persistencia.

Efecto permanente. Su efecto es permanente.

Efecto temporal. Se corrige el efecto al cesar la actividad.

Magnitud.

Efecto notable. Se producen cambios en el funcionamiento del medio.

Efecto intermedio. Se alteran algunos de los procesos del medio.

Efecto mínimo. Las alteraciones serán en procesos secundarios y de escasa importancia.

Efecto inductivo.

Efecto simple. Acción individual.

Efecto acumulativo. Aumenta su gravedad progresivamente con el tiempo.

Efecto sinérgico. Incrementa su efecto junto con el de otras actividades de un modo superior a la suma de estos.

Inmediatez.

Efecto directo. Acción inmediata.

Efecto indirecto. Se produce a causa de acciones intermedias.

Temporalidad.

Efecto continuo. Regularidad del efecto en el tiempo y en el espacio.

Efecto discontinuo. Irregularidad de las acciones en el tiempo y en el espacio.

Efecto periódico. Regularidad en el espacio e irregularidad en el tiempo.



Efecto aleatorio. Imprevisible en el tiempo y en el espacio, sin ninguna ley de recurrencia.

Recuperación.

Efecto recuperable. El efecto se puede eliminar por acción humana.

Efecto irrecuperable. Se produce la pérdida absoluta.

Duración.

Efecto a corto plazo. Plazo menor de cinco años.

Efecto a medio plazo. Plazo de cinco a diez años.

Efecto a largo plazo. Plazo superior a diez años.

4.2.2.1.- RUIDOS DE MAQUINARIA

Los niveles sonoros se incrementarán en las primeras fases de la obra, debido a la maquinaria, pero serán absorbidos por el entorno fácilmente.

En la fase de explotación los niveles sonoros serán aún más importantes debido principalmente al transporte de material, y a la maquinaria de trituración y cribado.

Causas y niveles de ruidos en explotaciones mineras.

Las dos categorías principales de fuentes de ruidos en minería son las plantas de tratamiento y los equipos móviles.



Las plantas fijas comprenden una amplia gama de aparatos, incluyendo trituradoras, cribas, cintas, tolvas, celdas de flotación, acondicionadores, motores, etc. Normalmente, se ubican en una o varias áreas próximas a la mina y, frecuentemente, se construyen cubiertas para proteger a los operarios y maquinaria de las inclemencias del tiempo, e incluso para mejorar la seguridad. En la tabla se indica el rango de niveles de ruido correspondiente a diversos equipos de instalaciones fijas.

EQUIPO	NIVEL DE RUIDO (Db(A))	PUNTO DE MEDIDA
Trituradora de mandíbulas	90-100	Posición del operador.
Cono triturador	92-98	Posición del operador.
Molino de bolas	Hasta 100	Posición del operador.
Cintas transportadoras	82-113	Posición del operador.
Bombas	89-100	Posición del operador.
Celda de flotación	63-91	Posición del operador.
Ventiladores eléctricos	Hasta 100	A 5 metros.
Martillos de aire comprimido	104-112	Posición del operador.
Sala de compresores (85m ³ /min)	52	A 300 metros.
Concentrador (7.000 t/día)	70	A 100 metros.



Los equipos móviles en minería son los propios de las operaciones básicas, perforación voladura, carga, transporte y servicios. Existe una gran variedad de modelos y marcas de equipos en la industria minera.

En lo referente a las causas del ruido en la maquinaria móvil más utilizada en minería, se han detectado seis como principales:

- Funcionamiento del motor.
- Salida de los gases de escape.
- Funcionamiento del ventilador del sistema de refrigeración.
- Funcionamiento de la transmisión.
- Funcionamiento del sistema hidráulico.
- Movimiento de las orugas o roce de los neumáticos con el suelo, según el tipo de máquina.

No en todos los equipos estas fuentes de ruido tienen, lógicamente, la misma importancia.

Control y corrección del ruido.

Las tres soluciones que pueden adoptarse para disminuir el ruido son:

- Reducir la causa.
- Aislar la fuente emisora.
- Absorber o atenuar el ruido entre la fuente emisora y el receptor.

Los dos primeros sistemas son los más efectivos, pero a veces requieren de nuevas tecnologías y, por consiguiente, mucho tiempo y capital. El diseño de la maquinaria móvil ha mejorado en los últimos años y se han ido desarrollando sistemas combinados para reducir el ruido, por ejemplo, silenciosos más grandes para los gases de escape, envío del aire del ventilador soplante hacia arriba a través de rejillas que disponen de material absorbente, recubrimientos de goma en las cajas de los volquetes, etc.



Una medida complementaria y de gran efectividad es el mantenimiento regular de la maquinaria, ya que así se eliminan los ruidos procedentes de elementos desajustados o muy desgastados que trabajan con altos niveles de vibración.

También es preciso señalar que en minería a cielo abierto es muy difícil predecir los niveles de ruido en las proximidades de las explotaciones, ya que tanto las condiciones atmosféricas variables como el efecto de la propia topografía influirán y modificarán las trayectorias de propagación.

Una técnica bastante extendida consiste en la construcción de barreras o pantallas entre la fuente emisora y el receptor. El ruido es difractado en la coronación de la pantalla, siendo este efecto más acusado en los ruidos de baja frecuencia que en los de alta, por lo que en estos últimos el apantallamiento es más efectivo. De acuerdo con Moore, la fórmula que permite estimar la reducción del nivel de presión sonora por una pantalla es:

$$R \text{ (dB)} = 8,2 \log [44H/\lambda * \text{tg} (\theta/2)]$$

Donde:

H = Altura de la pantalla (metros).

λ = Longitud de onda de ruido (metros).

θ = Ángulo de difracción del sonido.

En la práctica, la reducción del ruido es menor que la teórica calculada, debido a la turbulencia del aire y dispersión del ruido en la coronación de la pantalla. Estas pantallas se suelen construir con una altura de 5 a 10 metros, utilizando los estériles de la mina y, en ocasiones, con la plantación de árboles que sirven de pantalla visual e incluso de protección frente a posibles proyecciones de roca procedentes de las voladuras.



En esta tabla se indica la atenuación del sonido debida a distintos tipos de vegetación:

TIPO DE VEGETACIÓN	FRECUENCIA (Hz)					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hierba escasa: 0,1-0,8 metros de altura	0,5	-	-	3	-	-
Hierba espesa: 0,4-0,5 metros de altura	0,5	-	-	12	-	-
Árboles de hoja perenne	7	11	14	17	19	20
Árboles de hoja caduca	2	4	6	9	12	16

Una exposición prolongada a niveles altos de ruido conduce a un deterioro de la audición, aunque el oído puede tolerar variaciones intensas individuales.

En ningún caso debe exponerse a una persona a un ruido continuo con un nivel sonoro superior a 115dB(A) o intermitente superior a 140dB(C), incluso una exposición a 90dB(A) durante 8 horas diarias puede ocasionar daños en algunas personas. Cuando la exposición diaria se compone de períodos de ruido con diferentes niveles sonoros, hay que considerar el efecto combinado, esto es, la suma de las siguientes fracciones no debe exceder de la unidad:

$$c_1/t_1 + c_2/t_2 + \dots + c_n/t_n < 1,00$$

Donde:

c_n = Tiempo total de exposición a un nivel sonoro determinado.



t_n = Tiempo admisible a esta exposición (ver tabla siguiente de niveles máximos de presión sonora establecidos por la Occupational Safety and Health Atc. USA).

DURACIÓN DIARIA EN HORAS	NIVEL DE PRESIÓN SONORA EN dB(A)
8	90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,5	110
0,25	115

Otros valores intermedios entre los tabulados pueden calcularse mediante la expresión:

$$t_n = 8/2^{(L-90)/5}$$

Donde:

L = nivel de presión sonora en dB(A).

Los efectos producidos por el ruido sobre las personas se pueden resumir en:

- Fisiológicos (deterioro de la audición).
- Psicológicos (interferencia con la comunicación hablada, con el descanso y el sueño).
- Efectos subjetivos (molestias e irritación).



- Efectos sobre el trabajo (molestias, accidentes, distracciones, pérdida de rendimiento, etc.).
- Efectos directos sobre la salud.

En la tabla adjunta se indican los niveles de inmisión recomendados, como valor superior en distintos recintos.

CLASES DE RECINTOS	dB(A)
Dormitorio	40
	40-
Sala de estar y reposo	45 (30 noches)
	40-
Despacho profesional	45 (35 noches)
Servicios	50
Estudio de grabación sonora	25
Dormitorios en hospital	30 (25 noches)
Teatros y salas de conciertos	30
	30-
Sala de lectura	35
	30-
Cines	40
Aulas y laboratorios docentes	40
Oficina numerosa	45
	40-
Restaurantes	45
	45-
Cafeterías	50
Grandes almacenes	50



En numerosas explotaciones mineras se han establecido unos límites para los niveles sonoros de 65dB(A) durante el día y 55dB(A) por la noche.

Como legislación estatal vigente se cuenta con el Real Decreto 1316/89, de 27 de Octubre, sobre protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de la explotación y al ruido durante el trabajo. También existen Ordenanzas Municipales de prevención del ruido, pero sólo en algunos Ayuntamientos como el de Madrid y el de Zaragoza, además de un Decreto Foral en Navarra.

Resumen de recomendaciones.

En el desarrollo de una nueva operación, si se quieren minimizar los problemas o las quejas derivadas de los ruidos de la maquinaria e instalaciones, deberán cubrirse las siguientes etapas:

- 1) Identificar las actividades existentes que pueden ser afectadas por el ruido del nuevo proyecto
- 2) Determinar los niveles de ruido de cada método de trabajo alternativo.
- 3) Medir los niveles de ruido de las actividades existentes.
- 4) Comparar los niveles de ruido previstos con los ya existentes.
- 5) Estudiar la viabilidad y evaluar las actuaciones correctoras para reducir o eliminar el impacto del ruido.

Las medidas que pueden adoptarse para reducir los ruidos procedentes de instalaciones fijas y equipos móviles pueden resumirse en:

- 1) Situar las plantas de tratamiento lo más alejadas posible de ciudades o zonas residenciales.
- 2) Construir barreras de sonido perimetrales entre las fuentes y los receptores.
- 3) Cubrir las salas de compresores con estructuras de hormigón.
- 4) Revestir las plantas de tratamiento con paredes dobles y rellenas de fibra de vidrio y otros materiales aislantes.



- 5) Utilizar cintas transportadoras mejor que volquetes.
- 6) Instalar silenciadores en los equipos móviles.
- 7) Estudiar alternativas de rutas de transporte en zonas próximas a áreas habitadas.
- 8) Realizar un mantenimiento preventivo adecuado.
- 9) Instalar recubrimientos de goma en molinos, cribas, cajas de volquetes, etc., para reducir el ruido por impactos del material con elementos mecánicos.
- 10) Utilizar equipos accionados eléctricamente mejor que por motores diésel.
- 11) Limitar el trabajo de las unidades más ruidosas a horas diurnas.



4.2.2.2.- PARTICULAS EN SUSPENSION

Se producen en menor medida en la fase de construcción, y principalmente se produce en la fase de explotación. Es debido al movimiento de tierras, al transporte de todos los materiales, y al movimiento de la maquinaria pesada en la obra. Los primeros factores producen un incremento de la emisión de partículas en suspensión y sedimentables al aire. El último factor emite gases contaminantes procedentes de los motores de explosión.

La contaminación de la atmósfera se produce por la presencia de diversos compuestos que la impurifican. Es un fenómeno que se presenta a escala microscópica, pero con efectos que en muchas ocasiones son detectables a simple vista.

La polución del aire en minería es debida a distintas sustancias que, según su estado físico, pueden clasificarse en:

- Partículas sólidas y líquidas
- Gases y vapores

Las partículas contaminantes en estado sólido, más conocidas por el nombre genérico de polvo, tienen diámetros comprendidos entre 1 y 1.000 micrómetros. Se depositan por acción de la gravedad, por lo cual son conocidas como materia sedimentables, y tienen una composición química muy variada según su procedencia. Constituyen la principal fuente de polución del aire en la minería, encontrándose su origen en la acción del viento sobre las superficies excavadas, en la manipulación de los materiales, en el tráfico de vehículos, etc.

Los gases y vapores son el resultado de la detonación de los explosivos, de las emisiones de los motores térmicos de los equipos, de la combustión espontánea de residuos de carbón en escombreras, etc. La intensidad de ese tipo de contaminación es menos importante que la anterior.



Los efectos del polvo son muy numerosos y variados, en primer lugar es motivo de molestias a las personas, y por tanto de quejas si existen núcleos urbanos próximos, ya que da lugar a un ensuciamiento general del entorno habitado y a una disminución de la calidad del aire respirable que puede llegar a ser causa de enfermedades. Por otro lado, e independientemente de la toxicidad del polvo, y del contenido en sustancias metálicas, da lugar a desgastes prematuros en los elementos móviles de equipos industriales y también produce efectos dañinos sobre la vegetación, por oclusión de los estomas de las plantas, que disminuyen la aspiración del dióxido de carbono y agua necesitada por las mismas, y por la menor penetración de la luz.

Los límites máximos tolerables de presencia en la atmósfera de cada contaminante, aisladamente o asociado con otros en su caso, se recogen en la siguiente reglamentación:

- Ley 38/1972 de 22 de Diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Decreto 833/1975, de 6 de Febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972 de 22 de Diciembre, de Protección del Ambiente Atmosférico.
- Real Decreto 1613/1985, de 1 de Agosto, por el que se modifica parcialmente el Decreto 833/1975, de 6 de Febrero, y se establecen nuevas formas de calidad del aire en lo referente a contaminación por dióxido de azufre y partículas.
- Orden de 16 de Octubre de 1991, en la que se aprueba la ITC 07.1.04, de lucha contra el polvo del capítulo VII del Reglamento Central de Normas Básicas de Seguridad Minera.

Fuentes de contaminación atmosférica

Las fuentes emisoras de contaminantes son muy numerosas, pero de una forma genérica pueden clasificarse:

- Fuentes lineales (pistas de transporte con circulación de volquetes).
- Fuentes móviles (tubo de escape de un tractor).
- Fuentes fugitivas o no puntuales (superficies de escombreras sin revegetar).



El caso de las fuentes fugitivas es el más complejo de los mencionados, ya que intervienen otros factores no inherentes a la propia fuente como son los meteorológicos y topográficos, que pueden intervenir decisivamente en el fenómeno de la difusión.

Conceptos de emisión e inmisión

El proceso de polución de la atmósfera se inicia al introducir en ellas los contaminantes y continúa con la presencia de los mismos en el medio gaseoso, siendo función de las propiedades de los compuestos y condiciones ambientales.

La medida del nivel de contaminación debe realizarse, pues, desde la iniciación del proceso, esto es, desde la emisión de las sustancias. Por emisión se entiende la cantidad total de producto que se deposita en la atmósfera desde la fuente de la que procede.

El camino que siguen los contaminantes en la atmósfera es complejo, por cuanto en su difusión intervienen las características propias de dichas sustancias y las condiciones meteorológicas. Por esta razón, en la evaluación de los contaminantes se habla del concepto de inmisión, por el cual se entiende la concentración y permanencia de las sustancias que causan la polución de la atmósfera de forma continua o temporal, en las proximidades del suelo o en puntos suficientemente alejados de las fuentes.

En la mayoría de los países industrializados los niveles de inmisión y emisión se hayan regulados mediante el establecimiento de unos límites máximos.

En el caso concreto de la minería, la técnica que se utiliza para medir las emisiones de partículas sólidas es la de los factores de emisión. Estos factores son determinados como medias estadísticas de la velocidad a la que los contaminantes son liberados a la atmósfera como resultado de una actividad o ritmo de ejecución de la misma.

Se expresan en unidades de masa emitidas por unidad producida, o de masa emitida por unidad de tiempo.



En la tabla siguiente se recogen algunos factores de emisión de polvo fugitivo obtenidos en diversas operaciones mineras.

OPERACIÓN	NÚMERO DE ESTIMACIONES	FACTOR DE EMISIÓN
Movimiento de estéril de recubrimiento	5	0,024-0,05 kg/t de est. 0,004-0,23 kg/t de min.
Carga de volquetes con excavadora	5	Mayor de 0,5 kg/t de min.
Pistas de transporte	4	0,25-0,69 kg/km recorrido
Descarga de volquete en vertedero	3	0,00017-0,02 kt/t de min.
Extendido de estéril	1	Mayor de 32,4 t/ha-año

Prevención de polvo

A pesar de que los depósitos minerales no pueden cambiar de localización con respecto a los núcleos urbanos que puedan existir en las proximidades, sí es posible y debe plantearse, durante la etapa de planificación, el estudio del lugar más adecuado de ubicación de las plantas de tratamiento y parque de almacenamiento de minerales, con el fin de minimizar las emisiones de polvo procedentes de estas instalaciones. Deberá pues tenerse en cuenta las velocidades de los vientos en las estaciones meteorológicas cercanas, así como las posiciones relativas de las distintas áreas habitadas.

Desde el punto de vista de medidas de control y prevención del polvo en las diferentes operaciones mineras cabe citar las siguientes:



1-Excavación y carga

En estas operaciones se efectúa el arranque mecánico y la carga del estéril y del mineral, que va acompañada de una producción de finos que se pone de manifiesto durante el vertido del material sobre las unidades de transporte. Para evitar el polvo se recurre a un riego frecuente de las superficies de los montones de roca en los tajos, pero teniendo especial cuidado en no afectar negativamente a las operaciones de cribado, sobre todo de aquellos materiales que contienen arcilla.

2-Transporte

Es la principal fuente de polvo fugitivo que se produce por la circulación de los volquetes a través de las pistas y rampas de la mina. El peso de los vehículos hace que se trituren los materiales de construcción de la capa de rodadura de las pistas dando lugar a finos, y los propios neumáticos transportan también pequeñas cantidades de barro que se van depositando a lo largo del trayecto y que, tras su secado, se desintegra generando polvo con el movimiento del aire.

Los métodos de control más utilizados son los siguientes:

a) Riego con agua.

Es un método bastante económico y efectivo. La eficacia de control se cuantifica en el 84% y el 56% para las partículas totales e inhalables respectivamente. El principal inconveniente es la frecuencia de aplicación, sobre todo en regiones áridas y en épocas de estío. El coste depende del equipo utilizado, que puede ser una simple cisterna remolcada con riego por gravedad o un vehículo especial adaptado con bombas y aspersores. Y de los volúmenes de agua necesarios.



b) Estabilizantes químicos.

Los 3 tipos de sustancias químicas empleadas son: agentes humidificadores, sales higroscópicas y agentes creadores de costra superficial. Cada uno de estos productos actúa en el control del polvo según principios diferentes.

Los agentes humidificadores operan reduciendo la tensión superficial del agua, consiguiendo humedecer el polvo más fino, que es el de más difícil control.

Las sales higroscópicas atraen el vapor del agua de la atmósfera, retrasan la evaporación de sus soluciones con el agua y elevan la humedad de la capa superficial de las pistas, además, el aumento de humedad incrementa la cohesión y compactación de los materiales de las pistas, resultando una reedición importante del polvo.

Las sales que más se utilizan son el cloruro sódico y el cloruro cálcico. Este último, se aplica bien en estado sólido en forma de laminillas o en forma de solución concentrada. Cuando el producto se esparce tal cual, se utilizan diversos procedimientos mecánicos, tales como las esparcidoras de arena y las máquinas agrícolas de esparcir granos, previamente se recomienda humedecer los suelos mediante riego con agua. Si lo que se emplea es una salmuera se distribuirá el producto mediante una cisterna móvil, provista de un dispositivo de aspersión.



En las siguientes tablas se recogen las proporciones recomendadas de empleo del cloruro cálcico, en función de la naturaleza del terreno a tratar, la primera en estado sólido y la segunda en forma de solución concentrada.

NATURALEZA DE LA SUPERFICIE POLVORIENTA	PROPORCIONES POR ESPARCIDO	PROPORCIONES POR AÑO
Terrenos estabilizados. Terrenos estables, como macadam, tierra apisonada, dolomíticos, etc. Terrenos enarenados para campos de educación física.	400 g/m ²	800 g/m ²
Terrenos arenosos, aglomerados de escoria, etc.	600 g/m ²	1.200 g/m ²
Terrenos limosos y arcillosos.	2 esparcidos de 300 g/m ² con varias semanas de intervalo.	600 g/m ²



NATURALEZA DE LA SUERFICIE POLVORIENTA	PROPORCIONES DE SOLUCIÓN AL 30%
Grava compactada, macadam, tierra apisonada.	1 l/m ²
Terreno arenoso, aglomerado de escoria.	1,5 l/m ²
Terreno limoso, o arcilloso.	2 esparcido de 0,75 l/m ² con varias semanas de intervalo.

La solución concentrada se preparará normalmente para alcanzar el 30% de cloruro cálcico anhidro. Para ello se disuelven 50Kg de laminas en 80 litros de agua. Los 100 litros de solución obtenidos se esparcen sobre la superficie a tratar. Si el suelo está muy seco, o si es un terreno ya acondicionado, se diluye la salmuera al 30% en dos o tres veces su volumen de agua y se esparce un volumen de solución doble o triple al anterior por metro cuadrado.

Los agentes creadores de costra superficial pueden estar constituidos por lignosulfonatos, resinas sintéticas, compuestos vinílicos, polímeros sintéticos, etc. Se suelen aplicar en húmedo y tras su secado se consigue la formación de una costra que permite un buen control con una eficiencia próxima al cien por cien.



En la tabla que se muestra a continuación, se indican algunos costes orientativos de aplicación de estas sustancias.

MATERIAL	COSTE (€/1.000m ²)
Compuestos de estireno/butadieno.	18-39
Compuestos acrílicos.	39-126
Compuestos vinílicos.	9-39
Polímeros sintéticos.	114-330
Lignosulfatos.	18-39

Por último, indicar que en algunas explotaciones se utilizan esporádicamente aceites usados de la maquinaria para eliminar el polvo de las pistas. La frecuencia de aplicación es escasa, con el fin de evitar riesgos de accidentes al patinar los vehículos de transporte.

c) Láminas filtrantes sintéticas.

Estas láminas también geotextiles, se utilizan en la estabilización de suelos, drenajes, control de la erosión, etc. Ensayos realizados extendiendo estas láminas sobre las pistas y cubriéndolas con material granular grueso han demostrado que además de conseguirse un diseño óptimo y mantenimiento reducido se disminuye la cantidad total de partículas inhaladas en casi un 46%, dependiendo tales porcentajes de la naturaleza del material de subbase y capa de rodadura.

Finalmente, los camiones no extraviarios que transportan el mineral o el concentrado deben someterse a una limpieza antes de su entrada en las carreteras de uso público. Las estaciones de lavado y tramos de limpieza especiales, que dispondrán de aspersores laterales de agua a presión, se ubicarán en las proximidades a los puntos de acceso de la red viaria. Como resumen, en la tabla siguiente, se indican las eficiencias de control y los costes de aplicación de distintas sustancias empleadas en la lucha contra el polvo.



MÉTODO	EFICIENCIA DE CONTROL ESPERADA (%)	COSTE EFECTIVO (€/Km/año)
Aceites	50-98	188-1.388
Agua	40-84	228-788
Cl ₂ Ca	60	234
Coherex	90-96	120-240

3-Almacenamiento de minerales

Almacenamiento de minerales. Existen tres métodos utilizados en el control del polvo fugitivo procedente de las pilas o stocks de mineral: cubrición de los parques, barreras verticales contra el viento y empleo de agentes químicos que forman costras superficiales. El más costoso de todos es el primero, por cuanto supone inversiones iniciales de capital muy elevadas.

4-Puntos de transferencia y manipulación de minerales

Los sistemas empleados son: barrera mecánica/física o presión negativa de cierre, inyectoras de agua con o sin espuma, captadores de polvo, ciclones, filtros y precipitaciones electrostáticos.

5-Escombreras y taludes de roca expuestos a la acción del viento

La existencia de superficies desnudas, tanto en las escombreras como en los frentes de trabajo, sobre las cuales incide el viento, constituyen una fuente de formación de polvo muy importante a la que debe prestarse una atención.



Los vientos se clasifican por la velocidad, la dirección y la turbulencia. La velocidad de los vientos decrece sustancialmente conforme disminuye la distancia al suelo debido a la fricción, pero aumenta la turbulencia cuando las velocidades son superiores a los 3 o 5 Km/h.

La erosión eólica es un fenómeno superficial que depende básicamente de la velocidad y turbulencia del viento, y puede tener lugar por tres tipos de movimientos de las partículas: saltación, deslizamiento superficial y suspensión. Cualquiera de esos movimientos se ve agravado por los climas secos, ausencia de vegetación, tráfico de vehículos, etc.

La velocidad mínima requerida para el movimiento de las partículas por la acción del viento varía con el tamaño de éstas. Así, por ejemplo, para granulometrías entre 0,1 y 0,15mm los umbrales de velocidad están entre 13 y 14,5km/h, a una distancia del suelo de 15cm.

Un hecho curioso es que para tamaños inferiores o superiores a los indicados los umbrales de velocidad aumentan, encontrándose entre los 20 y los 50km/h a una distancia de 30cm de la superficie.

La erosión eólica se produce, de acuerdo con Chepil, por los siguientes mecanismos:

1. Detrusión: Dislocamiento de las partículas de roca proyectadas desde la superficie y causada por la acción del viento y por el bombardeo de las partículas erosivas impulsadas por el viento.
2. Efluición: Remoción de las partículas con diámetros entre 0,05 y 0,5mm causadas principalmente por saltación.
3. Extrusión: Empuje activo de las partículas de suelo que son demasiado gruesas para ser removidas por saltación.



4. Eflación: Remoción de las partículas finas susceptibles de ser transportadas en suspensión, dejando los granos más gruesos en el terreno.
5. Abrasión: Destrucción de las partículas bajo impacto de otras partículas que se mueven por saltación.

El mismo autor citado clasifica los suelos minerales en cuatro tipos básicos, según el tamaño de las partículas, con respecto a su respuesta a la acción del viento. Las cuatro fracciones consideradas son las indicadas en la tabla:

FRACCIÓN	DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS (mm)	SUSCEPTIBILIDAD AL VIENTO
A	<0,42	Altamente erosionable.
B	0,42-0,84	Difícilmente erosionable.
C	0,84-6,4	No erosionable normalmente.
D	>6,4	No erosionable.

Los métodos de control de polvo ante estas situaciones son:

- Instalación de pantallas cortavientos.
- Implantación de la vegetación.
- Empleo de estabilizadores.

El primer método tiene una efectividad reducida debido a que el efecto posee un carácter local y las superficies son en ocasiones irregulares y muy extensas.

El establecimiento de la vegetación es la solución ideal, pues reporta numerosas ventajas. Pero esto es en ocasiones inevitable debido a que no se han alcanzado las



situaciones finales previstas. No obstante, el correcto diseño y planificación de las operaciones puede permitir llegar a conseguir en el tiempo estados definitivos lo antes posible.

Por último, en las plataformas y taludes de las escombreras y presas de residuos y huecos excavados en materiales sueltos puede recurrirse al riego con estabilizantes químicos como los citados anteriormente.

6.- Resumen de recomendaciones

A continuación se enumeran las principales recomendaciones para minimizar la contaminación del aire:

- 1) Riego periódico de las pistas y accesos de las minas.
- 2) Estabilización química de los materiales de construcción de las pistas.
- 3) Pavimentación de los accesos permanentes a las explotaciones.
- 4) Retirada de las pistas del material formado por acumulación de polvo.
- 5) Reducción de la velocidad de circulación de vehículos.
- 6) Revegetación de áreas adyacentes a las pistas de transporte.
- 7) Limitación de los cruces de pistas.
- 8) Control del polvo procedente de la carga de los volquetes.
- 9) Reducción de las áreas de excavación expuestas a la acción del viento.
- 10) Rápida revegetación de los terrenos restituidos.
- 11) Mejora de los métodos de manipulación de los materiales.
- 12) Empleo de pantallas, vegetales o de otro tipo, frente al viento.
- 13) Control de polvo durante la perforación por medio de captadores.
- 14) Reducción del número de tajos con voladuras.
- 15) Sustitución de los volquetes por cintas transportadoras.
- 16) Disminución de la producción durante los vendavales.
- 17) Extinción de los puntos de combustión espontánea del carbón.
- 18) Reducción del tiempo entre las fases de explotación y restauración.
- 19) Control del polvo durante el transporte del mineral desde la planta de tratamiento.



4.2.2.3.- ALTERACIONES EDAFOLOGICAS

Se producirán alteraciones sobre el suelo de muy escasa importancia en la fase de construcción y más importantes en la fase de explotación. Debido al carácter de la obra, los movimientos de material son muy importantes llegando a desaparecer la escombrera.

4.2.2.4.- INTRUSION VISUAL DE LA NUEVA OBRA

Es inevitable que se produzca una intrusión visual, al tratarse de una nueva obra en la que se incorporarán nuevos elementos como es la maquinaria, intrusión que será escasa debido a la posición que ocupa la escombrera.



4.3. – PROPUESTA DE

MEDIDAS

PROTECTORAS Y

CORRECTORAS



Las medidas correctoras que se pueden tomar están orientadas primariamente a eliminar las causas que pueden producir el impacto. Esta opción pasa por elegir la mejor de las posibles alternativas posibles. Una vez elegida, si no es posible eliminar la causa, hay que evitar al menos que se produzca el impacto. Y si finalmente, esto no fuera posible, habría que tratar de minimizar el impacto producido adoptando las medidas oportunas.

4.3.1. – ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS PROTECTORAS

La integración de la obra en el entorno puede favorecerse en gran medida con un diseño adecuado del proyecto desde el punto de vista medioambiental y una adecuada terminación de las obras, en especial aquellas que implican movimiento de tierra.

Las medidas preventivas que se presentan a continuación pretenden que la ejecución de las obras se realice respetando en lo posible el entorno, a la vez que se posibilite la aplicación de las medidas correctoras que se vayan a ejecutar posteriormente.

4.3.1.1.-CONTROL DE EMISIONES DE POLVO DURANTE LAS OBRAS

Las principales fuentes de polvo durante las obras son las excavaciones, la manipulación de materiales y el tráfico de vehículos.

Uno de los efectos de mayor entidad es el ejercicio sobre las personas, sobre todo cuando hay poblaciones cercanas: se da un ensuciamiento general del entorno, así como una disminución de la calidad del aire respirable. Otro efecto es la actuación del polvo como abrasivo, ya que produce un desgaste prematuro en los elementos móviles de la maquinaria en general. Por último la vegetación de la zona y cultivos se ven también afectados, ya que disminuye la aspiración de dióxido de carbono y agua y reduce la penetración de la luz.



Con el fin de mantener controlado este efecto, se recomienda el riego frecuente de las superficies, o la utilización de estabilizantes químicos.

Además en la salida de la escombrera, se colocará una zona de limpieza de ruedas de los camiones con agua, para evitar que tanto polvo como rocas salgan de la zona de la escombrera, y que pudiesen molestar incluso herir a personas ajenas a la obra.

4.3.2. – MEDIDAS CORRECTORAS

El establecimiento y delimitación de las distintas zonas sobre las que resulta necesaria la acción correctora se ha definido basándose en dos cuestiones fundamentales: la existencia y magnitud de un determinado impacto o alteración, y la posibilidad de corrección de dicha alteración. Para estas zonas en las que es preciso proceder a una restauración, se propone una medida correctora enfocada a la integración ambiental y paisajística de las superficies.

4.3.2.1.- REVEGETACION

Como consecuencia de las obras de construcción, han de aparecer próximas a la traza estrechas franjas del terreno desprovistas de vegetación. Con objeto de acelerar el proceso de colonización de dichas tierras y de conseguir la implantación de una cubierta vegetal de herbáceas autóctonas de la zona, se procederá a efectuar una preparación del terreno que afecte a su capa superficial.

El fin perseguido con este trabajo consiste en lograr la descompactación del terreno, en una profundidad no superior a 10 centímetros. Una vez volteada la tierra y eliminada su costra superficial, el suelo a de presentar mejores condiciones para que se produzca la germinación de las semillas y el posterior arraigo de las plantas que, de forma natural, vayan a revegetar estas zonas.



4.4. – PROGRAMA DE

VIGILANCIA

AMBIENTAL



Los objetivos de un Plan de Vigilancia Ambiental, son según el Real Decreto 1131/1.998 del 30 de Septiembre los siguientes:

Velar para que en relación con el medio ambiente, la actividad se realice según las condiciones en que se hubieran autorizado.

Determinar la eficacia de las medidas de protección ambiental.

Verificar la exactitud y corrección de la Evaluación de Impacto Ambiental.

Fase de construcción

Se fijarán controles previos y de proceso de las acciones a realizar en la obra.

Los controles previos se realizarán con anterioridad a las acciones de la obra y consistirán en inspecciones visuales y realización de ensayos para comprobar la idoneidad de materiales y equipos. Los controles reproceso se harán durante la ejecución de la obra y se encargarán de la correcta realización de la misma.

Se pondrá especial interés en la regeneración ambiental de la zona con plantación de árboles autóctonos y arbustos.

Además se proponen las siguientes acciones:

Control de las operaciones de retirada y apilamiento de tierra vegetal.

Control de los niveles de ruidos y olores durante la ejecución.

Control de los niveles de contaminación de las aguas de producirse algún vertido.

Fase de explotación

Durante esta fase, se tendrán que realizar las siguientes labores:

Limpieza de la zona vegetal para impedir posibles incendios.

Vigilancia de la ocupación del suelo estrictamente necesario.

Seguimiento y gestión de materiales sobrantes.

Control de niveles de ruido y olores.

La medición de todos estos parámetros se efectuará con una periodicidad de tres meses. Cualquier efecto presente no previsto, modificaciones en sentido distinto al estimado, deberán llevar prevista una modificación de los efectos o la intensificación y/o modificación de las medidas correctoras.



4.5. – DOCUMENTO DE

SINTESIS



Una vez analizado el presente estudio, se llega a la conclusión de que la obra es perfectamente realizable sin que interfiera de manera notable en el medio ambiente.

Todos los impactos analizado son de escasa importancia salvo el que afecta al paisaje y al medio socioeconómico. Este último beneficia en cualquier caso al entorno, ya que es positivo.

Por lo tanto como conclusión se considera el proyecto en estudio compatible con el medio, y causante de un impacto despreciable si se aplican las medidas correctoras indicadas.

Conclusión

Para la elaboración de los estudios de impacto ambiental no existe aún una metodología específica ni un patrón bien definido, ya que los aspectos dependerán directamente del tipo de proyecto sobre el que se va a aplicar, de las características ambientales del sitio del proyecto, de la intensidad y extensión de los posibles impactos generados y de la profundidad de la modalidad de manifestación de impacto ambiental que se va a elaborar. Lo que si existe es una serie de líneas básicas contenidas en las instrucciones para la elaboración de los Estudios de Impactos Ambientales en sus diferentes modalidades, y algunos manuales especializados dirigidos a la elaboración de dichos estudios para un sector productivo determinado.

La primera etapa conceptual de los estudios de impacto ambiental consiste en predecir e identificar las alteraciones producidas por el proyecto, el análisis de los objetivos y acciones susceptibles de producir impacto, así como la definición de la situación primitiva del entorno, misma que comprende la identificación de elementos susceptibles de ser modificados, el inventario de estos elementos y la valoración del inventario. Los anteriores son entonces, el primer paso en la realización de un estudio de impacto ambiental.



El segundo paso consiste en la identificación y predicción de los impactos ambientales. Si existe más de una alternativa, se deberá hacer la valoración de impactos para cada una de ellas, lo que posteriormente hará posible una comparación de dichas alternativas, así como la selección de la más adecuada.

La última etapa de los estudios de impacto comprenderá la selección de medidas correctivas y de mitigación, la definición de impactos residuales después de aplicar esas medidas, el programa de vigilancia y el control de alteraciones, y en caso de que sean necesarios, los estudios complementarios, así como el plan de abandono y recuperación.



5.- CONCLUSIONES



Las conclusiones a las que se llega en el presente proyecto son; que en el mercado de fosfatos existe poca información sobre la producción y el consumo de la roca fosfórica para la aplicación directa y a menudo es difícil obtener y evaluar datos confiables. A pesar de ello se sabe que pocos son los países que se pueden autoabastecer de fosfatos gracias a sus yacimientos, lo que hace que la mayoría de países, incluido España, tenga que importarlo.

Los fosfatos tienen muchas aplicaciones y muy variadas, lo que hace que se mueva una gran industria a su alrededor, ya sea en lo referente al niquelado químico o a la fabricación de fertilizantes; su aplicación más extendida

El valor del fosfato en el mercado ha caído respecto a su pico máximo obtenido en 2008 lo que hace difícil cualquier posible reapertura de antiguas minas de fosfatos.

El estudio realizado en el proyecto sobre la apertura de una planta de tratamiento y la posibilidad de reapertura da opción a varias variantes en lo referente al diseño de la planta. Las soluciones finalmente adoptadas fueron:

- Una planta fija: calculando el volumen de la escombrera se prevé que la planta funcione durante 9 años aproximadamente, para lo cual es mejor la planta fija, ya que da mayor estabilidad y evita problemas de traslado que se pudiesen que generar en la planta móvil.
- Alimentación mediante camiones: el inconveniente de tener que calcular, rediseñar y reconstruir las cintas transportadoras en función de si la escombrera está más o menos agotada, ha sido clave para elegir la opción de los camiones, cuyo inconveniente del polvo generado se puede solucionar en gran parte con el riego de las pistas.



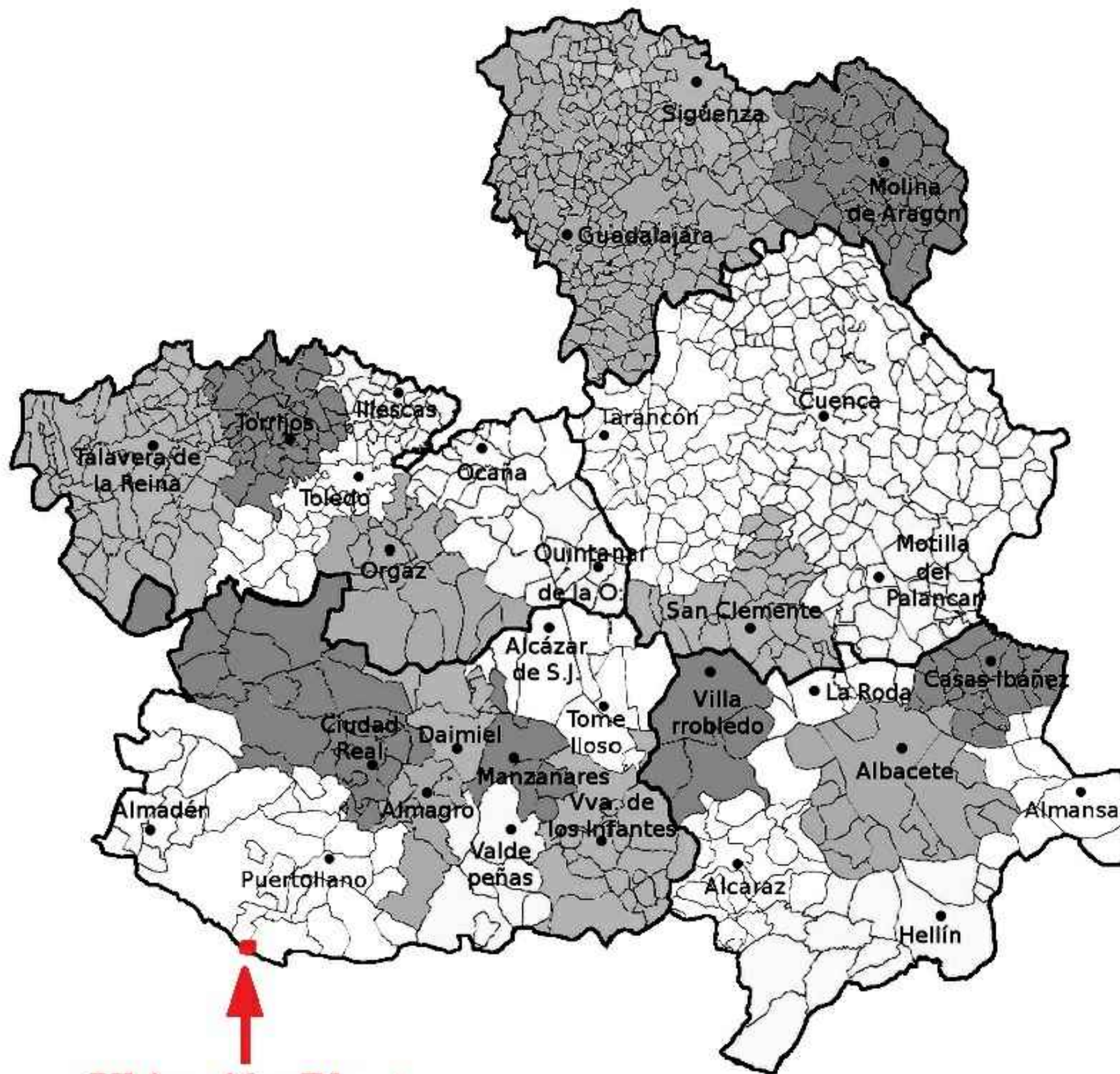
Dicho estudio, teniendo en cuenta el presupuesto de reapertura, el valor del fosfato en el mercado actualmente y los gastos de seguridad y salud, arroja datos pesimistas, ya que a pesar de tener suficiente roca fosfática en el yacimiento, el coste de la reapertura no nos permitirían unos beneficio suficientes como para que sea viable la reapertura.



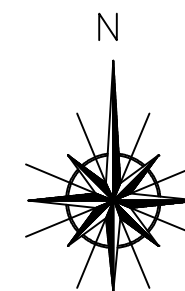
6.- BIBLIOGRAFIA



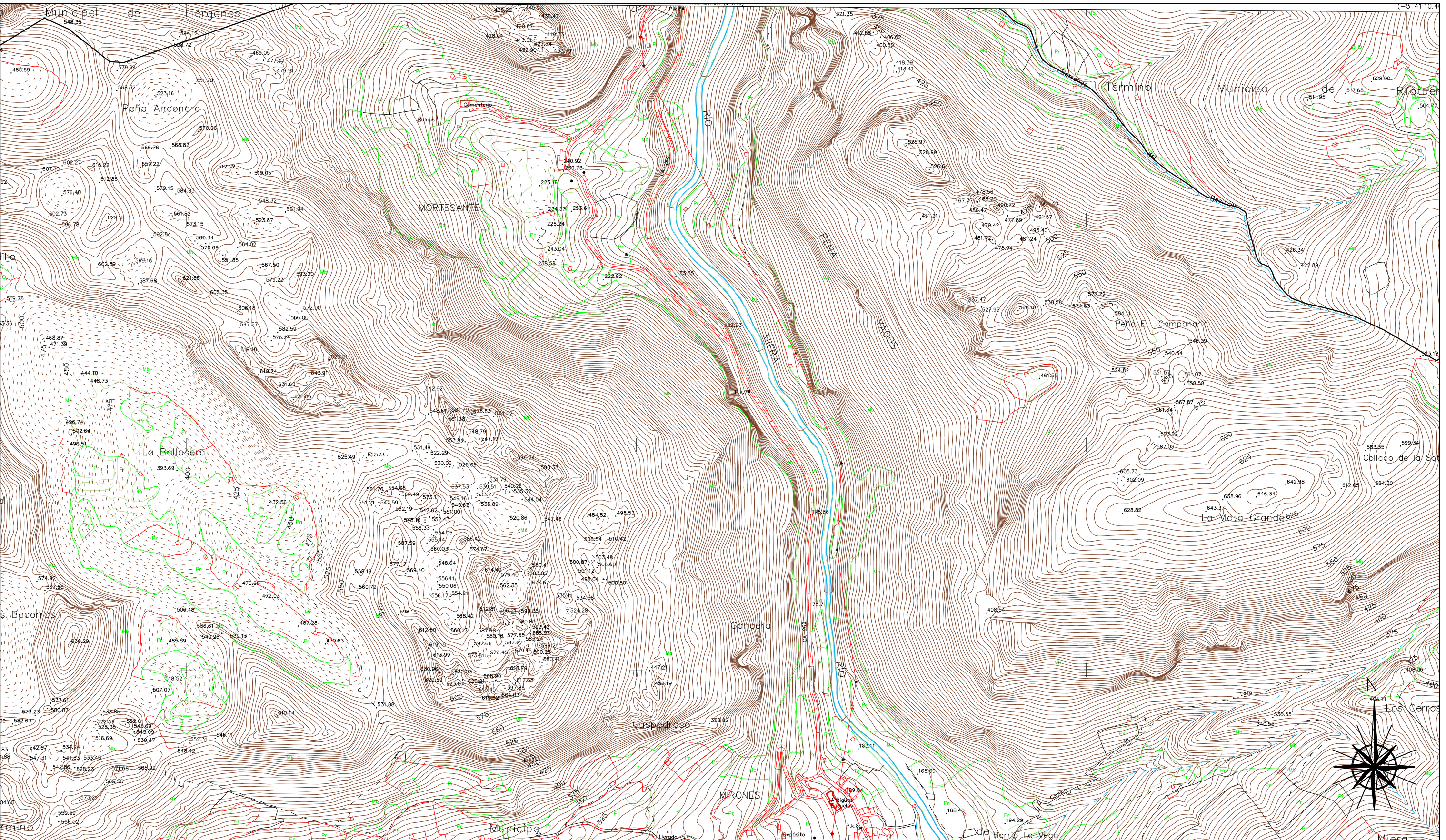
- <http://www.pdv.com/lexico/museo/minerales/fosfatos.htm>
- Apuntes tecnología mineralúrgica. Emilia Andrea Blanco
- <http://www.eleconomista.es/interstitial/volver/acierto/internacional/noticias/2602059/11/10/son-los-fosfatos-estupido-.html>
- <http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar>
- <http://pepoladas.over-blog.es/categorie-11223833.html>
- <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/sedimentologia/pdf/fosforitas.pdf>
- BOCAMINA (revista de minerales y yacimientos de España). Artículo escrito por: Borja Sainz de Baranda, Fernando J. Palero y Gonzalo García.
- http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_r
- <http://eltrasgudeonuba.blogspot.com.es/2008/11/asi-era-el-yacimiento-de-de-foss-bucraa.html>
- <http://fgonzalesh.blogspot.com.es/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>
- <http://autoline.es/sf/maquinaria-de-construccion-trituradora-KRUSZARKA-EXTEC-C13-obecnie-Sandvik-KRUSZARKA-13011103441927191300.html>
- <http://autoline.es/sf/maquinaria-de-construccion-dragalina-EO-5111b-12112016263798423400.html>
- <http://www.diamantes-infos.com/diamante-bruto/equipo-minero-48.html>
- <http://spanish.alibaba.com/product-gs/the-new-designed-spiral-classifier-511115997.html>

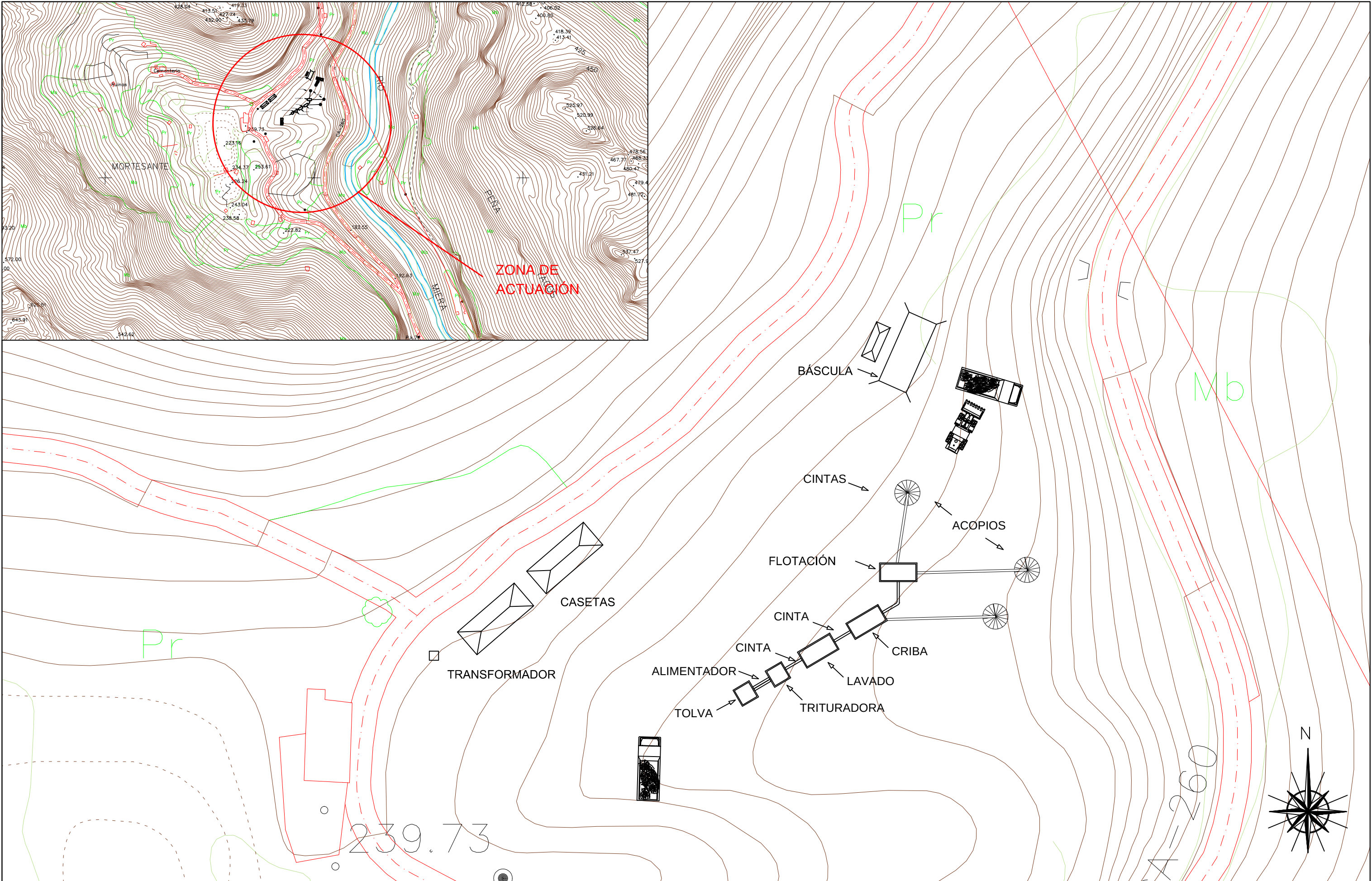


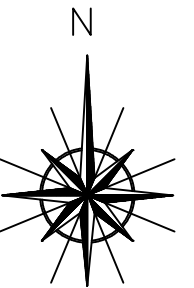
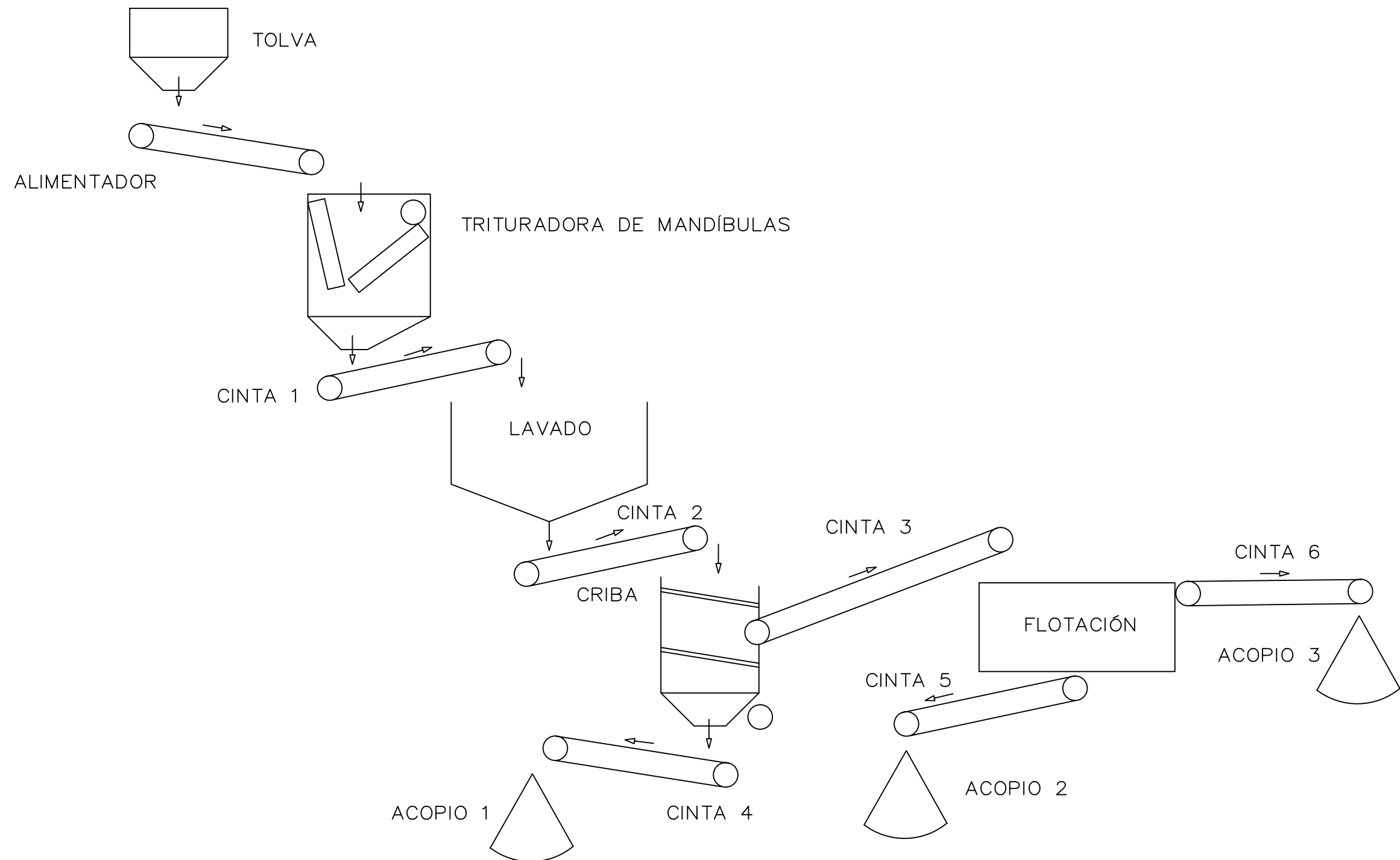
Ubicación Planta

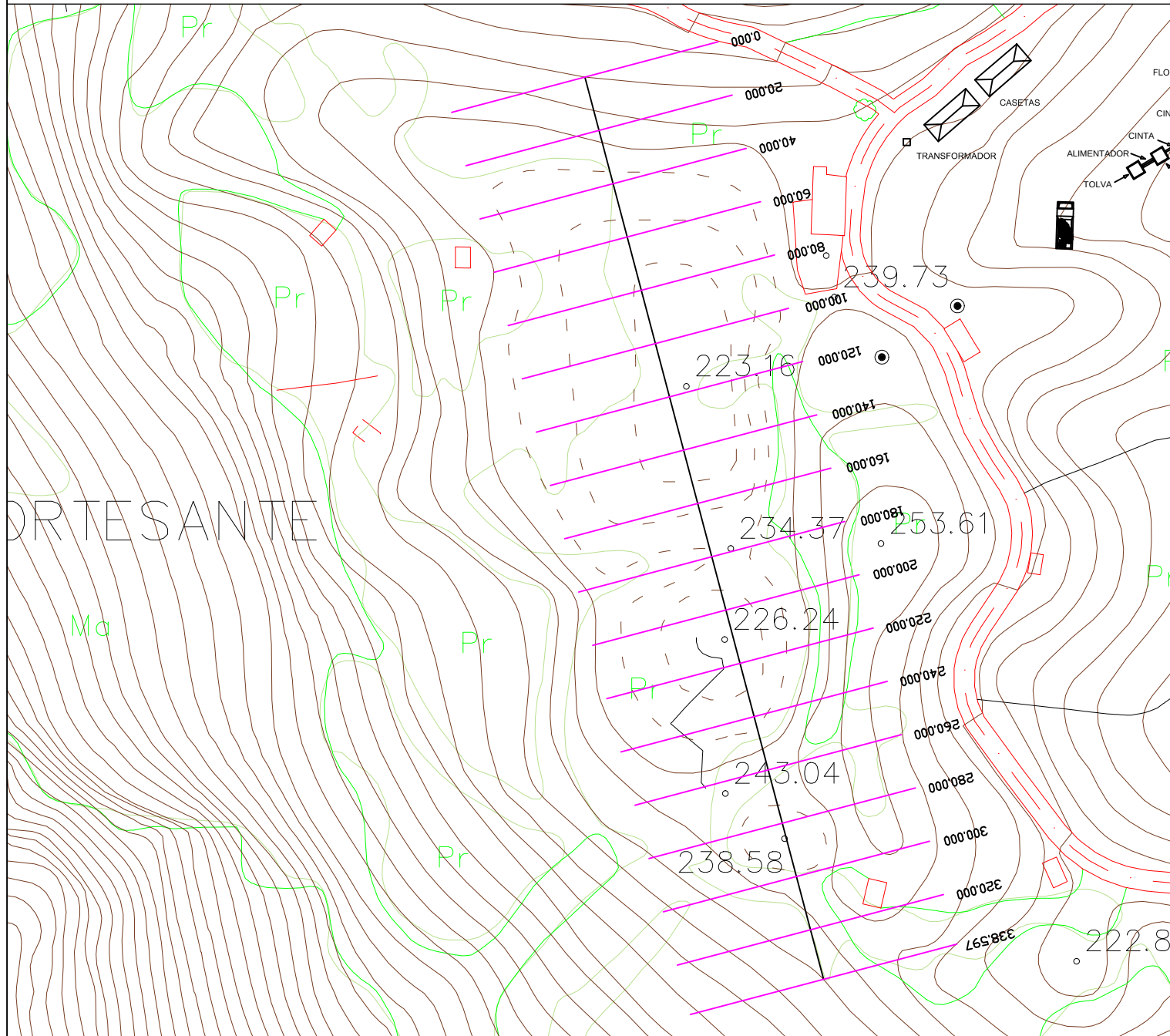
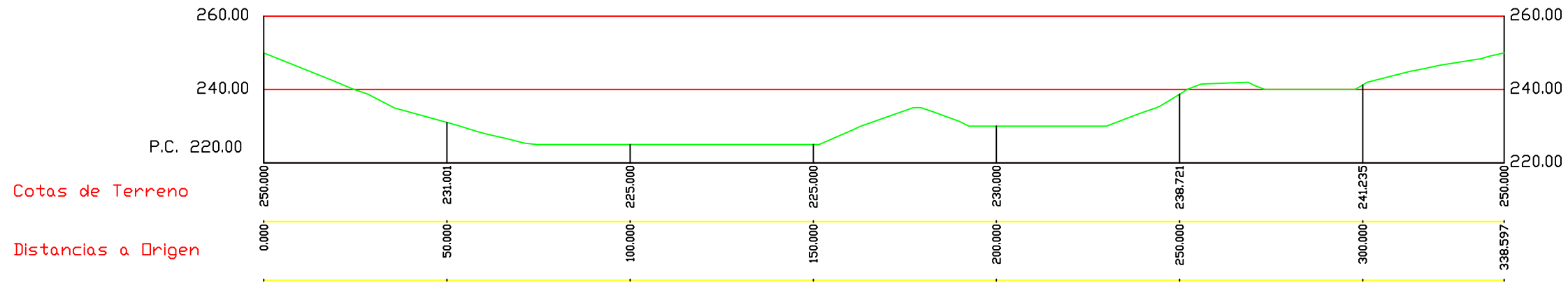


.\uc.jpg	Universidad de Cantabria	.\minas.jpg	INGENIERO TÉCNICO AUTOR DEL PROYECTO	ESCALA: 1:750	TÍTULO DEL PROYECTO Yacimientos de Fosfatos: Origen, Ubicaciones, Aplicaciones de los Derivados de Fosfatos y Diseño de una Planta de Tratamiento	TÍTULO DE PLANO Plano Situación de la Planta	PLANO	HOJA
	Escuela Politecnica de Ingeniería de Minas y Energía		Ivan Martinez Gutierrez	ESCALA GRÁFICA: original A3				1
	Proyecto Fin de Grado						FECHA: SEP/2013	

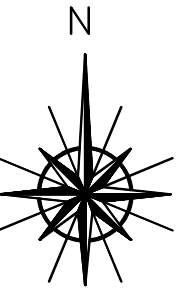
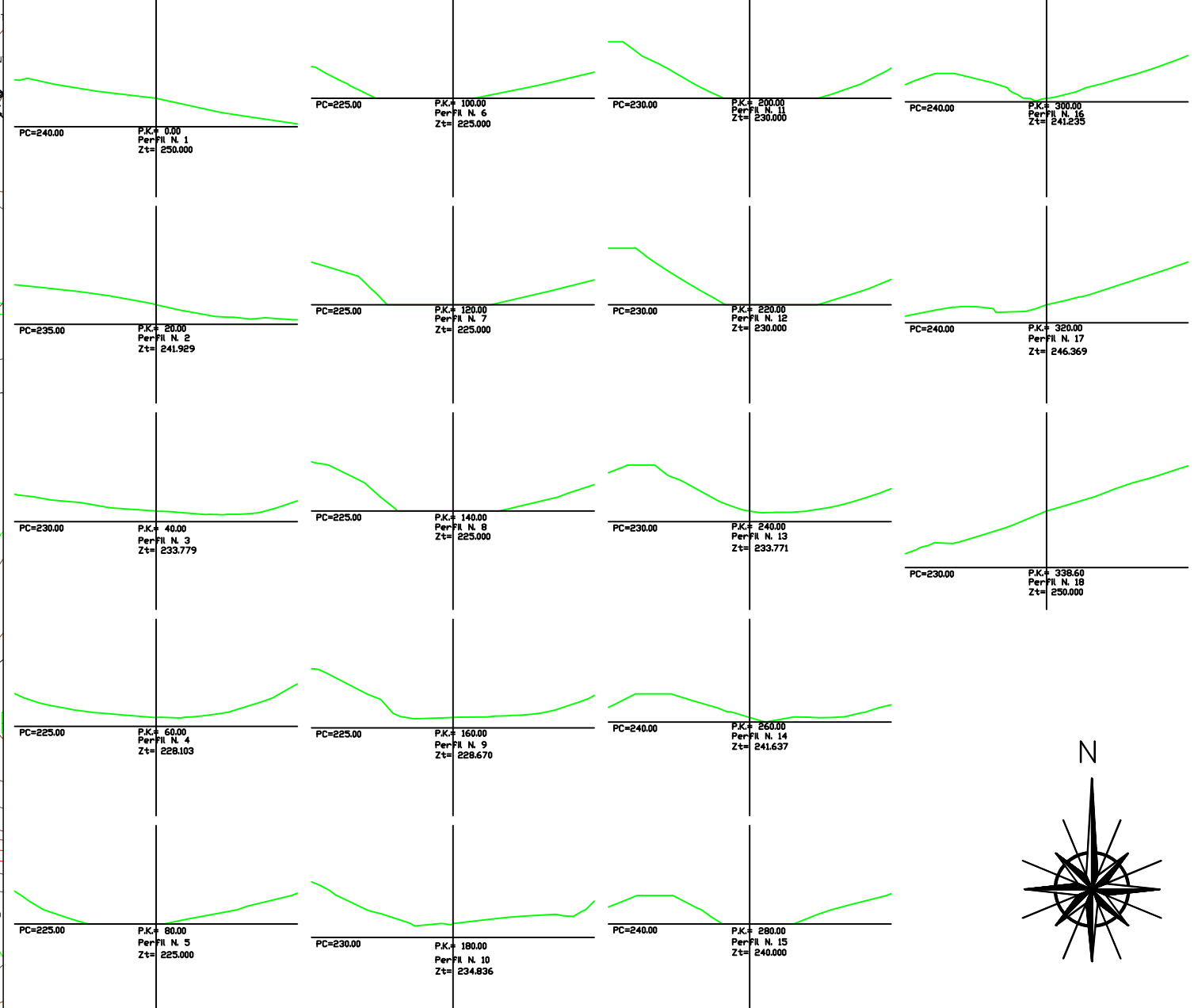








PERFILES TRANSVERSALES / ESCALA 1:100



Universidad de Cantabria
Escuela Politécnica de
Ingeniería de Minas y Energía
Proyecto Fin de Grado



INGENIERO TÉCNICO AUTOR DEL PROYECTO
Ivan Martinez Gutierrez

ESCALA: 1:750
ESCALA GRÁFICA: original A3
0 5 10m.

TÍTULO DEL PROYECTO
Yacimientos de Fosfatos: Origen, Ubicaciones, Aplicaciones de los
Derivados de Fosfatos y Diseño de una Planta de Tratamiento

TÍTULO DE PLANO
Perfiles del Terreno

PLANO HOJA 1
FECHA: SEP/2013