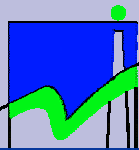


**NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.**

# **Recuperación Medioambiental de Suelo Contaminado por Metales Pesados. Desarrollo de la Solución Adoptada**

**Ignacio Diego**

**NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.**



**NAVARRA DE  
MEDIO AMBIENTE  
INDUSTRIAL, S.A.**

Avda. Pío XII, 18 Ofic 3. 31008 Pamplona  
Tel: 948. 198636 Fax: 948 198125  
e-mail: [namainsa@namainsa.es](mailto:namainsa@namainsa.es)



C/Alhóndiga, 1 - 31002 Pamplona  
Tel: 948. 42 70 00 Fax: 948 22 00  
12

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Índice

- Introducción
- Características del suelo
- Alternativas de tratamiento
- Alternativa seleccionada
- Valorización de las cenizas de pirita
- Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio
- Celdas de Seguridad
- Bibliografía y Links de interés

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Introducción



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Introducción

### Financiación



## Alternativas de Tratamiento

- Depósito de Seguridad "Off-Site"
- Depósito de Seguridad Conjunto Pamplona - Lodosa
- Estabilización/Solidificación "On-Site"
- Estabilización/Solidificación "Off-Site"
- Tratamiento Hidrometalúrgico
- Almacenamiento Subterráneo Controlado  
Conjunto Pamplona - Lodosa

## NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

### Alternativa Seleccionada

- 1 -Valorización de las cenizas de pirita.
- 2 - Mezcla del residuo restante con Hidróxido de Magnesio.
- 3 - Disposición del conjunto en una Celda de Seguridad.



## NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

# Valorización de las Cenizas de Pirita

Los trabajos consistieron básicamente en el acopio del material y a su posterior cribado, ya que en cementeras existía un límite en cuanto a la granulometría del material, para posteriormente cargarlo en trenes que lo transportan hasta su destino.

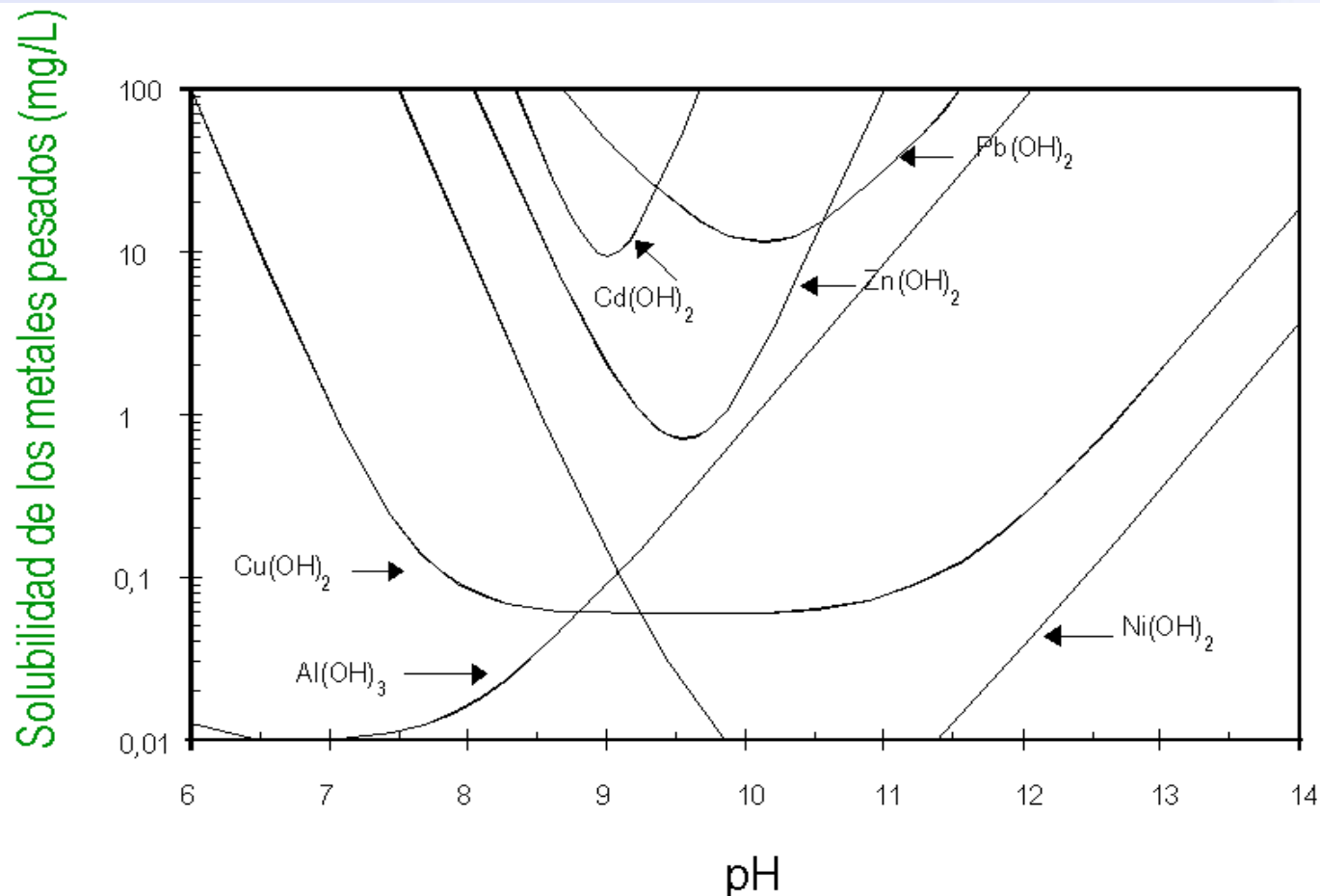
La cantidad total de material valorizable en Pamplona alcanzó las 9.832 Tn y en Lodosa 13.251 Tn, total 23.083 Tn.



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio

En el gráfico se puede apreciar el rango óptimo de pH en el que se consigue la mínima solubilidad.

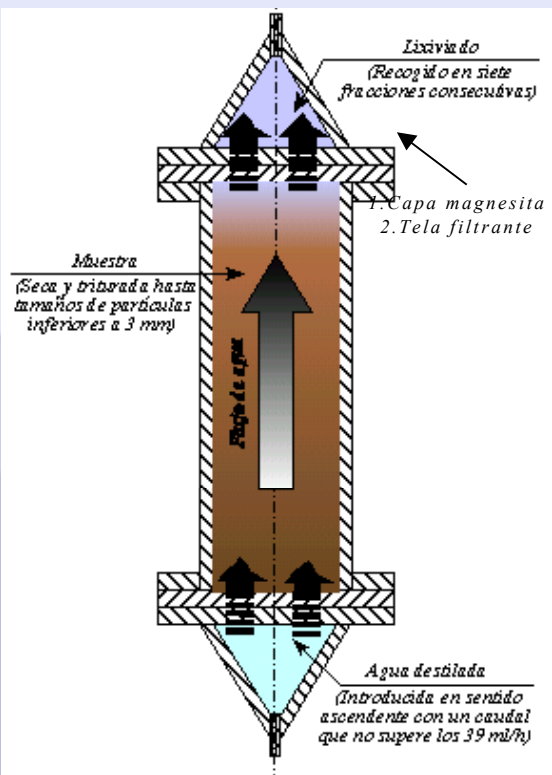




NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

# Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio

Se realizaron test de lixiviación en columna para comprobar el comportamiento de la mezcla de residuo y del Hidróxido de Magnesio.



Parámetros	Resultados
pH	7,9
Conductividad ( $\mu S/cm$ )	2010
DQO ( $mgO_2/l$ )	16
Ca ( $mg/l$ )	570
Mg ( $mg/l$ )	47,6
Fe ( $mg/l$ )	<0,05
Zn ( $mg/l$ )	0,72
Ni ( $mg/l$ )	<0,05
Cu ( $mg/l$ )	<0,05
Cr ( $mg/l$ )	<0,05
Cd ( $mg/l$ )	<0,05
Pb ( $mg/l$ )	<0,05

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio

Para conseguir el efecto anterior en la totalidad del residuo se realizaron las siguientes medidas en obra:

- Mezcla en las instalaciones de la fábrica del Hidróxido de Magnesio y las tierras manchadas con restos de pirita.
- Extensión en el fondo de la Celda de Seguridad de una capa de 10 cm.

La adopción de las medidas anteriores ha provocado que el lixiviado que se ha recogido, proveniente de la Celda de Seguridad, presente en todas las muestras analizadas, valores muy inferiores en metales pesados a los límites de vertido, como se recoge en los gráficos adjuntos.

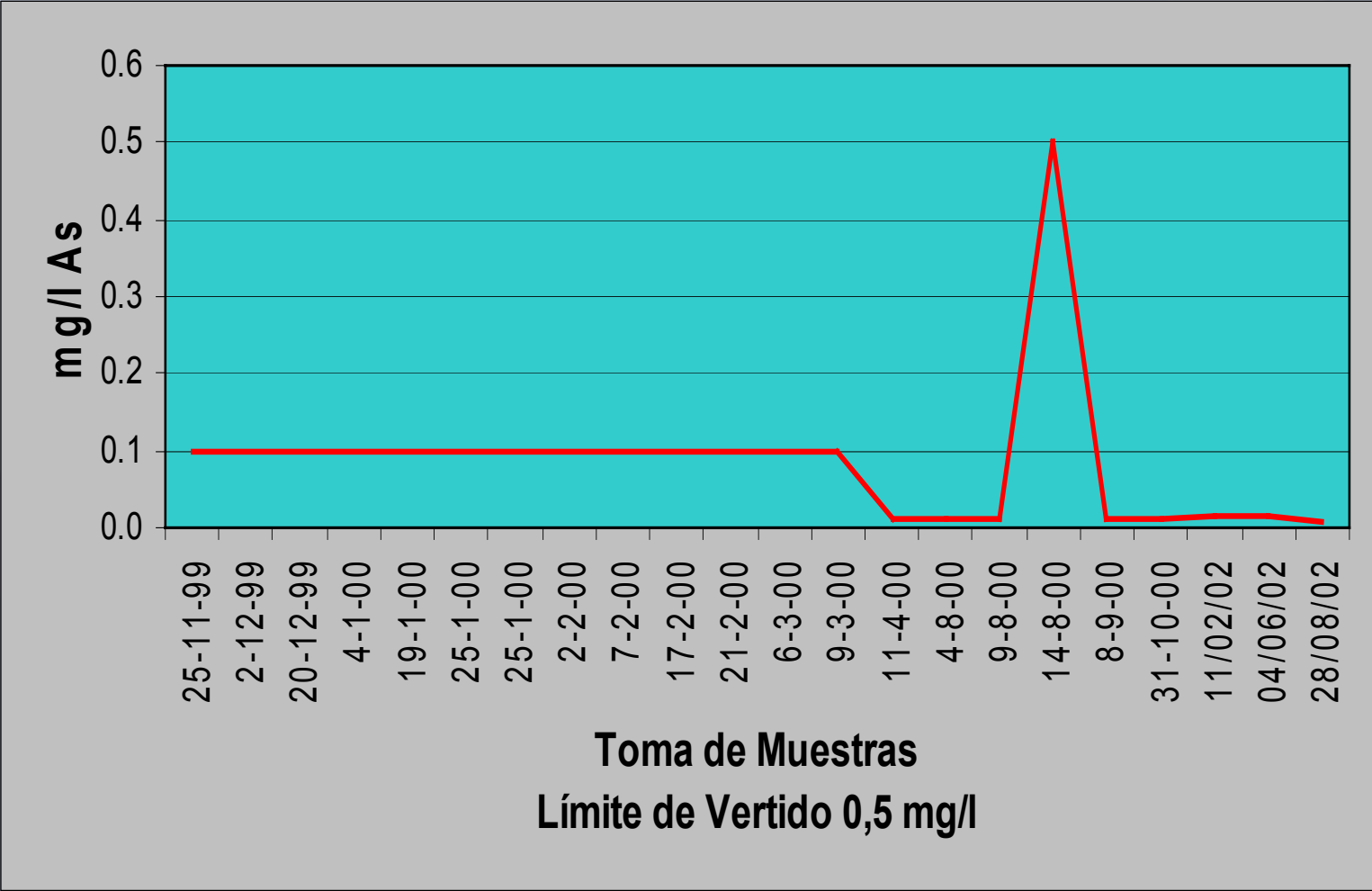
# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio



NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

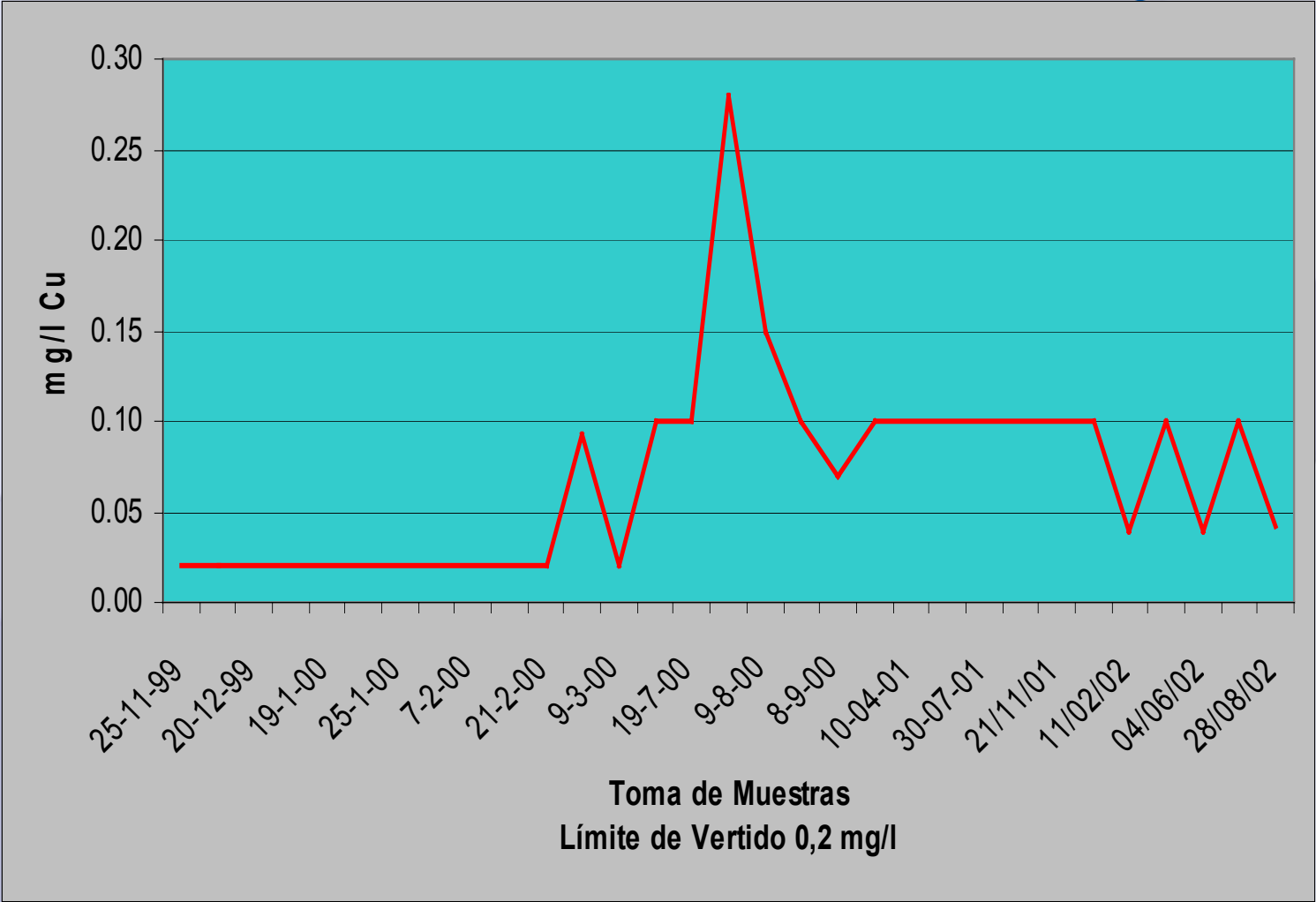
## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio





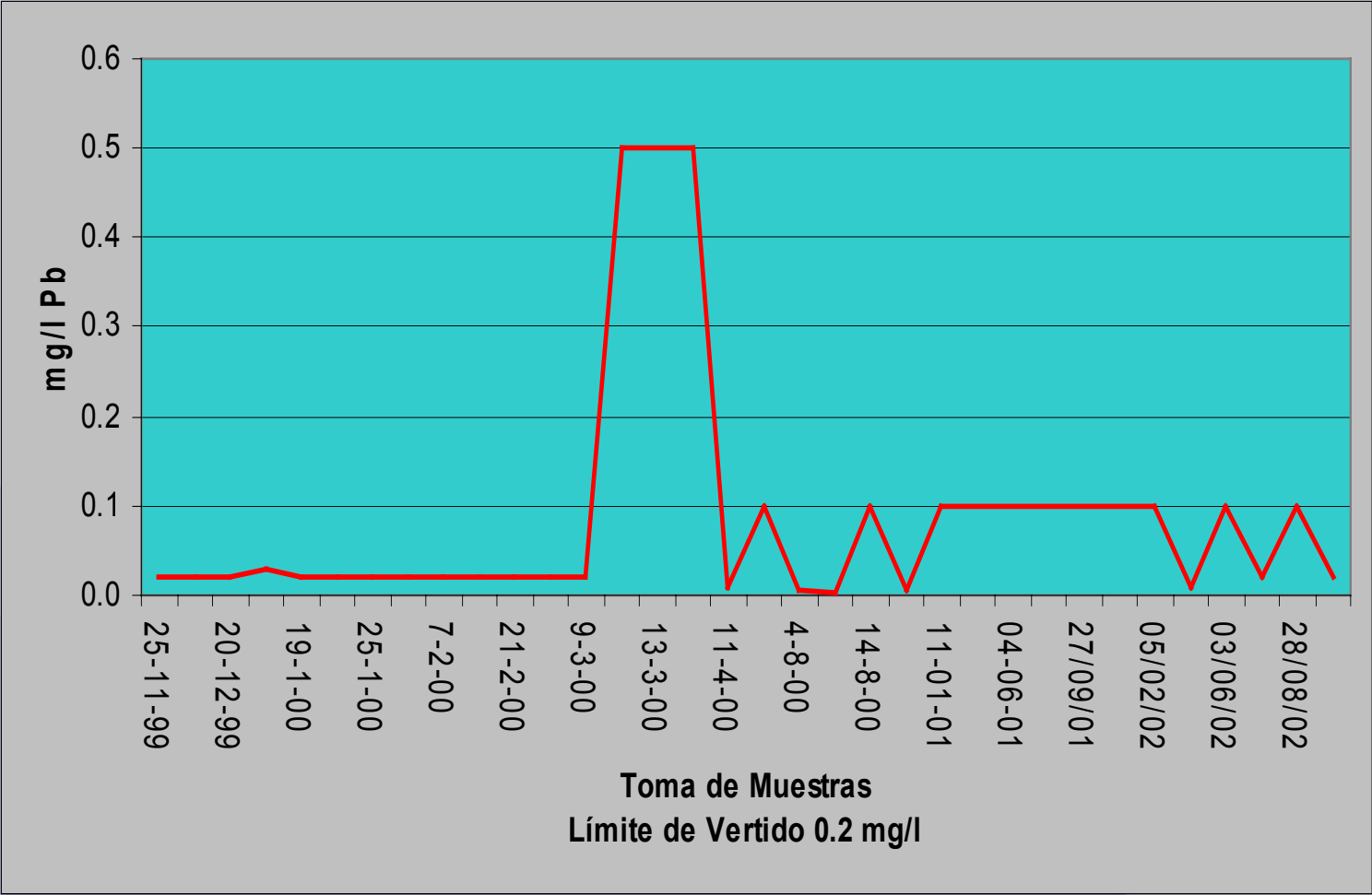
# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Mezcla del residuo con Hidróxido de Magnesio



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

Antes del inicio de los trabajos de ejecución de las Celdas de Seguridad se realizaron una serie de Estudios Previos en cada una de ellas:

- Estudio de alternativas de ubicación.
- Estudio de Impacto Ambiental.
- Estudio de Detalle.
- Proyecto constructivo de la Celda de Seguridad.

## NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

# Celdas de Seguridad

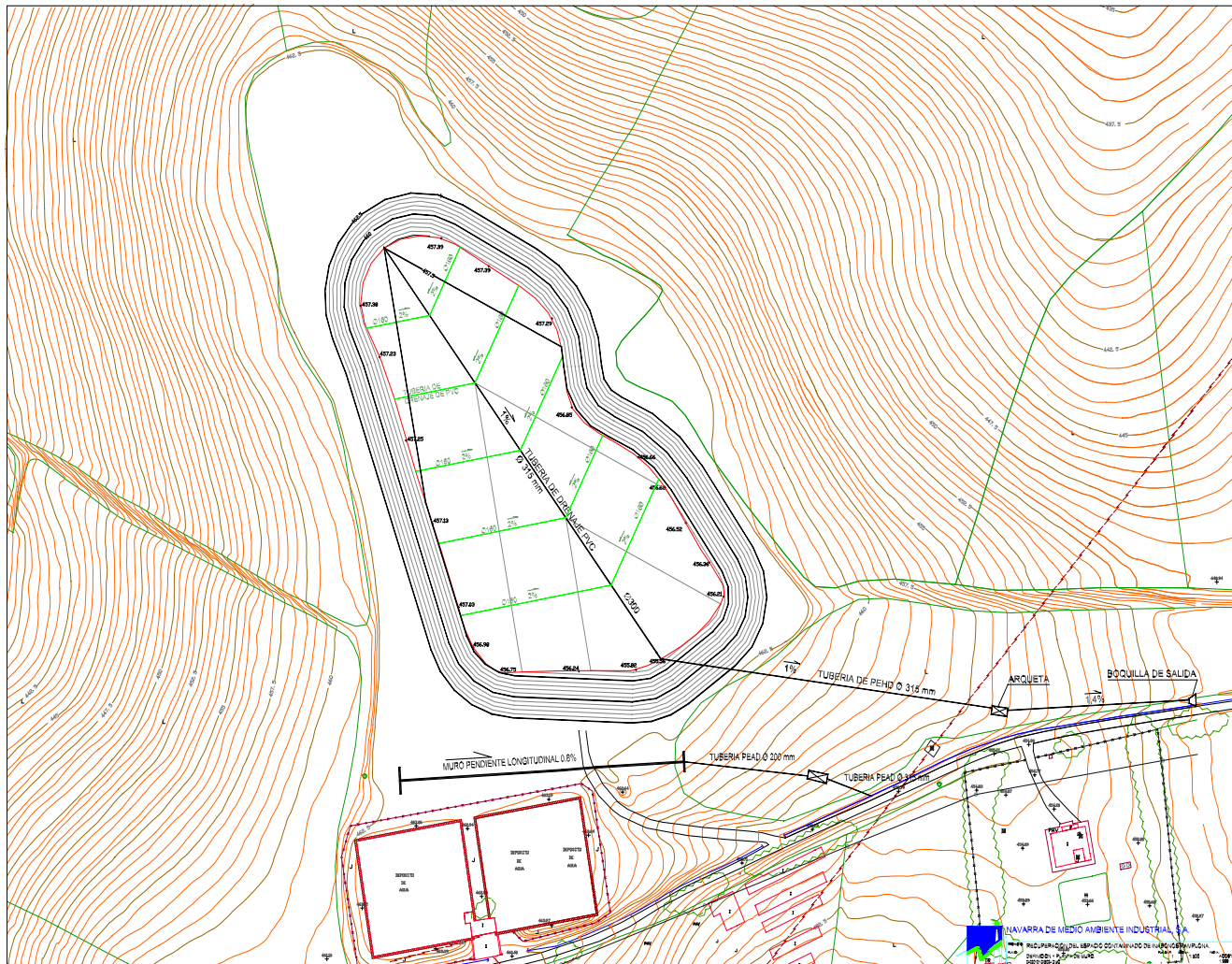
Los trabajos consistieron básicamente en:

- Preparación y Replanteo.
- Acondicionamiento accesos.
- Excavación de la Celda.
- Canalización de los sistemas de control de lixiviados.
- Excavación y acopio de tierras manchadas.
- Impermeabilización de la Celda.
- Transporte de las tierras manchadas.
- Verificación de la descontaminación de los terrenos de INABONOS.
- Llenado de la Celda.
- Sellado de la Celda.
- Remates y Acabados.

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

- Planta de la Celda de Seguridad de Pamplona:





NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

Celdas de Seguridad

• Mediciones Celda de Seguridad de Pamplona:

•EXCAVACION:	• 91.041 m <sup>3</sup>
•SUPERFICIE EXPROPIACION:	• 20.991 m <sup>2</sup>
•SUPERFICIE OCUPACION CELDA:	• 16.350 m <sup>2</sup>
•CUBICAJE NETO DE RESIDUOS:	• 121.133 m <sup>3</sup>
•PRESUPUESTO FINAL:	•1.885.513,8 €
•PRECIO Ton TRATADA:	•8,3 €/Ton

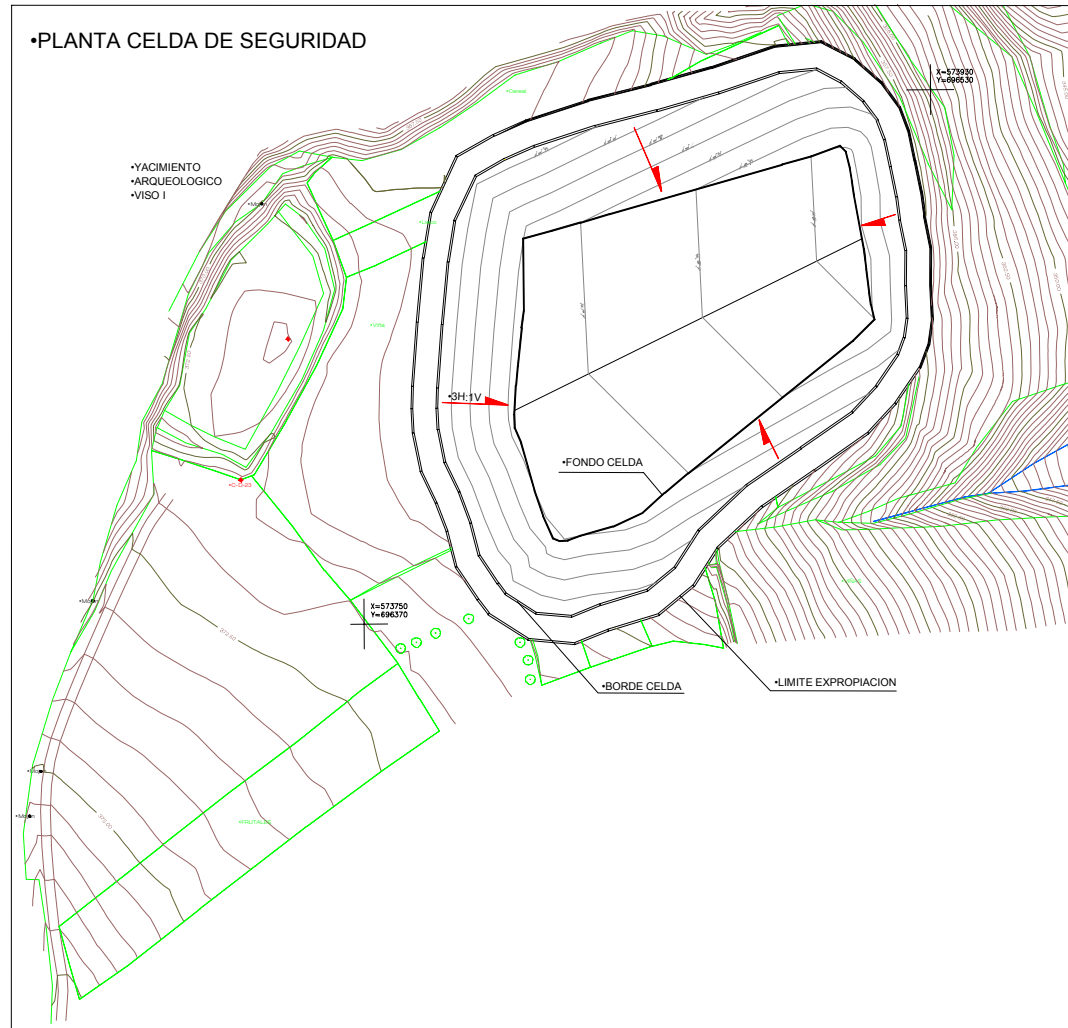
•M3 MAGNESITA:	• 6.500 m <sup>3</sup>
•M2 LAMINA PEAD 1,5mm:	• 32.023 m <sup>2</sup>
•M2 GEOTEXTIL 300gr/m2:	• 101.439 m <sup>2</sup>
•M2 GEOTEXTIL 1.200gr/m2:	• 32.023 m <sup>2</sup>
•M3 ARCILLA:	•28.182 m <sup>3</sup>
•M3 GRAVA SILICEA:	•14.453 m <sup>3</sup>
•M3 TIERRA:	•19.103 m <sup>3</sup>
•M3 VEGETACION:	•16.100 m <sup>3</sup>

- 
- Diagrama de Corte Transversal**
- Legenda:**
- Arcilla compactada al 97% PN
  - Grava oficina
  - Tierra vegetal
  - Grava caliza
  - Arcilla compactada al 95% PN
  - Residuos
  - Hidrato de magnesio
  - Tierra natural
  - Hidrosiembra Gramíneas
  - Todo uno compactado
  - Geomembrana PEAD (lisa de 1.5 mm en la base y rugosa de 2 mm en la superficie)
  - Geotextil antipunzonamiento 1200 gr/m<sup>2</sup>
  - Geotextil anticontaminante 300gr/m<sup>2</sup>
- Datos del Proyecto:**
- PROYECTO: RECUPERACION DEL ESPACIO CONTAMINADO DE INABONOS-PAMPLONA.
- PLANO: CELDA DE SEGURIDAD SANTA LUCIA.
- SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACION: 3402/101/DBS15.DWG
- ESCALA: 1:30
- FECHA: febrero 2006

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

- Planta de la Celda de Seguridad de Lodosa:



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

- Mediciones la Celda de Seguridad de Lodosa:

•EXCAVACION:	• 115.222 m <sup>3</sup>
•SUPERFICIE EXPROPIACION:	• 21.700 m <sup>2</sup>
•SUPERFICIE OCUPACION CELDA:	• 17.500 m <sup>2</sup>
•CUBICAJE NETO DE RESIDUOS:	• 123.307 m <sup>3</sup>
•PRESUPUESTO FINAL:	•2.336.365,17 €
•PRECIO Ton TRATADA:	•10,08 €/Ton

•M3 MAGNESITA:	• 8.500 m <sup>3</sup>
•M2 LAMINA PEAD 1,5mm:	• 57.516 m <sup>2</sup>
•M2 GEOTEXTIL 300gr/m2:	• 59.673 m <sup>2</sup>
•M2 GEOTEXTIL 1.200gr/m2:	• 57.516 m <sup>2</sup>
•M2 BENTONITA:	•36.776 m <sup>2</sup>
•M3 ARCILLA:	•10.462 m <sup>3</sup>
•M3 GRAVA SILICEA:	•17.008 m <sup>3</sup>
•M3 TIERRA:	•18.868 m <sup>3</sup>
•M3 TERRAPLENADO:	•76.942 m <sup>3</sup>
•M3 VEGETACION:	•38.318 m <sup>3</sup>

- 
- REIMATE DRENAJE CON CUNETTA**
- Limite explotación
- CUNETA DE HORMIGÓN EN MASA HM(20)
- BORDE DE REPLANTEO DE LA CELDA
- RESIDUOS
- TERRENO NATURAL
- Gestilif antipuncionamiento de polipropileno de 1.200gr/m<sup>2</sup>
  - Gestilif anticontaminante de polipropileno de 300gr/m<sup>2</sup>
  - Lámina de PEAD rugosa por ambas caras 1.5mm
  - Lámina de PEAD lisa de 1.5mm
  - Geocompuesto de bentonita de 10mm
  - Todo uno compactado
  - Grava silíceas 20/40 mm
  - Anillo compactado al 95% PN
  - Residuo extendido en longitudes de 40 cm al 97% PN, excepto las primeras y últimas 10 cm que se compactarán al 100% PN en longitudes de 30 cm
  - Tierra vegetal
  - Hidrato magnesio 10cm
  - Hidrocarburos gaseosos
- NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.**

RECUPERACION DEL ESPACIO CONTAMINADO DE INABONOS - LODOSA

CELDA DE SEGURIDAD EL VISO. SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACION.

ESCALA:	FECHA:	PROYECTO:	DISEÑO:
1:30	5	MARZO 2.000	J. J. GARCIA DIAZ PERAZA C.T. 18 / V. 026 / BR



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

### Control de Calidad.

- Durante la ejecución de las obras se procedió, por parte de empresa independiente, a la realización de un control de seguridad exhaustivo de las características de los diferentes materiales y su correcta disposición.
- Dentro del control de calidad se distinguen dos apartados:
  - Control de geosintéticos y geomembranas.
    - Ensayos de aceptación del material.
    - Ensayos de instalación.
  - Control de materiales naturales.
- Los diferentes ensayos a utilizar, así como su número, se obtuvieron de normativa americana (EPA)

## NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

### Celdas de Seguridad

Medidas adoptadas para la reducción de los lixiviados:

- Cubrición de los residuos mediante cubiertas temporales. Al final de cada jornada de trabajo y cuando se producían precipitaciones se procedió a cubrir mediante una lona los residuos.
- Separación de las aguas limpias de las contaminadas durante la ejecución de la obra. Se procedió a la división hidráulica de las celdas en tres subceldas, separadas mediante dos Rain-Flap de PEAD soldado a las láminas inferiores del mismo material.

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad

### Seguimiento y Control:

- Aguas subterráneas: Se disponen piezómetros en los perímetros de la Celda.
- Asentamiento del vaso: Se realizan hitos de control de colocados en interior de las Celdas para controlar el nivel de asentamiento.

### Precios del Sellado del vaso y Superficial Pamplona:

- Sellado del Vaso 33,84 €/m<sup>2</sup>.
- Sellado Superficial 24,2 €/m<sup>2</sup>.

### El precio de los sistemas de sellado en Lodosa asciende :

- Sistema de sellado del vaso 38,44 €/m<sup>2</sup>.
- Sistema de sellado Superficial 23,65 €/m<sup>2</sup>



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad



# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Celdas de Seguridad





## Bibliografía y Links de Interés

- “Designing with Geosynthetics”. Robert M. Koerner. Ed. Prentice Hall. ISBN 0-13-726175-6
- Directiva 1999/31 del consejo de 26 de abril de 1.999 relativa al vertido de residuos. [www.namainsa.es/opr](http://www.namainsa.es/opr),  
[www.europa.eu.int/comm/environment/index\\_en.htm](http://www.europa.eu.int/comm/environment/index_en.htm)
- “Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction and Closure” EPA 625-4-89-/022. [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
- Real Decreto 14841/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. [www.namainsa.es/opr](http://www.namainsa.es/opr). [www.mma.es](http://www.mma.es)
- “Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos”. Michael D. LaGrega, Philip L. Buckingham, Jeffrey C. Evans. Ed. McGraw-Hill. ISBN 84-481-0712-8.

# NAVARRA DE MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL, S.A.

## Bibliografía y Links de Interés

- Documentación de “Curso Superior sobre Gestión y Diseño de Vertederos” 29-31 de Mayo de 2.000. CER (Club Español de los Residuos). [www.clubresiduos.org](http://www.clubresiduos.org).