

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y
METALURGICA**

**“ PLAN DE CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES DE LA MINA
DE ORO DE SALSIGÑE _FRANCIA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

RODOLFO JUVENAL JURADO BONIFACIO

Lima – Perú

2005

INDICE

Resumen del proyecto

1. Introducción

- 1.1. Presentación.
- 1.2. Objetivos del estudio

2. Contexto General

- 2.1. Ubicación del Proyecto
- 2.2. Contexto Geológico
- 2.3. La Estratigrafía.
 - 2.3.1. Contexto Estructural.
- 2.4. Contexto climático
 - 2.4.1. .- Estudio de la pluviométrica
 - 2.4.1.1.- Análisis estadísticos de muestras anuales y mensuales de la estación de pluviométrica de la ciudad de Carcassonne(Francia
 - 2.4.1.2.- Análisis de lluvia para 24 horas.
 - 2.4.1.3.- Análisis de lluvias cortas(datos de meteorología Francesa)
- 2.5. Aspectos sísmicos del área

3. Base de datos para el estudio

- 3.1. Cuadro de planos
- 3.2. Topografía actual
- 3.3. Registros Topográficos

4. Emplazamiento y características de la presa de relaves de L'Artus

- 4.1. Localización de L'Artus
- 4.2. Geología
- 4.3. Hidrografía
 - 4.3.1. los canales de contorno del deposito
 - 4.3.2. los canales de colección
 - 4.3.3. la circulación de agua sobre el deposito
 - 4.3.4. El estanque de retención y reciclaje del deposito.
- 4.4. Materiales del lugar
 - 4.4.1. Los esquistos
 - 4.4.2. Las Marnos – Calcarios
 - 4.4.3. Las arenas finas y gruesas de cicloneado
 - 4.4.4. Las escorias
- 4.5. Aberturas en las laderas y playas del deposito
- 4.6. funcionamiento hidrológico

5. Caracterización de relaves

- 5.1. Generalidades
- 5.2. Principios de almacenamiento de relaves
- 5.3. Características de los estériles almacenados
- 5.4. Tratamientos de estériles actuales y antiguas
- 5.5. Características químicas de los residuos
 - 5.5.1.1 Sondajes
 - 5.5.1.2 Calicatas
 - 5.5.1.3 Suelos
 - 5.5.1.4 Profundidad de la napa freática
- 5.7. Características físicas de los residuos
 - 5.7.1. La Permeabilidad
- 5.8. Propiedades mecánicas de los residuos
- 5.9. Planos de corte del deposito de estériles
- 5.10. Los diques
- 5.11. Los drenajes subterráneos
- 5.12. El drenaje exterior
- 5.13. La poza de retorno

6. Hidrologia actual

- 6.1. Delimitación del deposito de estériles
- 6.2. Las playa superior y la playa inferior
- 6.3. Las laderas del depósitos
- 6.4. Los estanques de colección de agua Norte y Sur
- 6.5. Calculo del coeficiente de chorreo y su aplicación en deposito
- 6.6. Estimación de volumen de escorrentía del proyecto
- 6.7. Control de calidad de aguas industriales de L' Artus.

7. Proyecto de mejoramiento del deposito de L'Artus

- 7.1. Los Objetivos
- 7.2. Calculo de la Estabilidad del deposito
 - 7.2.1. Análisis de la estabilidad estática
 - 7.2.2. Grafico del circulo crítico
 - 7.2.3. Calculo del factor de seguridad del deposito
- 7.3. Descripción del proyecto
 - 7.3.1. Descripción inicial del deposito
 - 7.3.2. Las pendientes iniciales
 - 7.3.3. Las pendientes finales
 - 7.3.4. El calculo de corte y relleno
- 7.4. Planeamiento de trabajos del proyecto
 - 7.4.1. Mejoramiento de las laderas 215 – 225 y 225 – 235
 - 7.4.2. Canal de descenso de agua y mejoramiento de bancos
 - 7.4.3. Impermeabilización de los canales de descenso de agua
 - 7.4.4. La cobertura con esquistos
 - 7.4.5. Construcción de las pistas de drenajes
 - 8.4.5.1 Esquema de base
 - 8.4.5.2 Sección a fuerte pendiente > à 10%
 - 8.4.5.3 Sección a fuerte pendiente entre (de 4 à 10 %)
 - 8.4.5.4 Construcción de un chuté de agua sobre geomenbrana

8. Realización del proyecto

- 8.1. Movimiento de tierra de los talud
- 8.2. Construcción de pistas a lado norte y sur
- 8.3. Estanque de agua de percolación del deposito

9. Cuantificación de los trabajos

- 9.1. Canales de descensos de agua
- 9.2. Movimiento de tierra de berma
- 9.3. Cobertura de esquistos
- 9.4. Pistas de drenajes
- 9.5. Fosas de colección de las aguas de precolación
- 9.6. Estanque de control de agua de chorreo
- 9.7. tabla de resumen
- 9.8. Cronograma y presupuesto del proyecto

10. Hidrológica del lugar después de la rehabilitación

- 10.1.- Método de calculo del caudal dentro de los canales de evacuación
- 10.2.- Aplicación de estos cálculos sobre los drenajes del deposito

11. Conclusiones y recomendaciones

12. Bibliografía

13. Anexo_1

14. Anexo_2

Resumen del plan de cierre del deposito de relaves de L'Artus

Por disposición prefectoral N° 99.1333, del año 1999 __ 2000 la explotación del deposito de L'Artus esta autorizado a hacer una rehabilitación pero teniendo en cuenta las disposiciones relevantes de la ley francesa que regula la estabilidad, la cobertura de las laderas y playas del deposito y su integración dentro del medio ambiente

Los estudios efectuados sobre los depósitos de relaves, permitieron apreciar algunas deficiencias en lo que respecta a su estabilidad física. Por ejemplo En la mayor parte de casos los taludes presentaban pendientes, con rangos que oscilaban entre 12° y 30° y la capacidad de la presa era de 7'5400.000 toneladas de estériles. Como consecuencia de ello, y aún cuando la posibilidad de licuefacción es nula los taludes podían constituir un riesgo en caso de probables eventos pluviométricos extraordinarios y /o problemas de erosión eólica.

Inicialmente se llevaron a cabo obras de estabilización hidrológica, física y química Mediante un proceso de corte y relleno compensado, además de la construcción de seis bermas de 3 a 6 m de ancho; se ha ido perfilando el talud con el objeto de prevenir toda posibilidad de derrumbe eventual. Se han construido canales y cunetas para el drenaje de las aguas que impacten directamente en el talud del depósito. A través de este sistema, se procede a la colección, conducción y evacuación del líquido. Adicionalmente, se ha construido una poza de monitoreo para el control de las aguas de percolación.

El depósito de L'Artus ha sido dotado asimismo de una cobertura técnica adecuada, en una extensión de 36 Has. La mencionada cobertura se realizo una capa de material del lugar Esquistos, marnos _ calcarlos y escorias la de 0.30 - 0.40 m. De espesor y, finalmente, una capa de tierra orgánica que posee un espesor de 0.10 m.

Por último, se ha procedido a revegetar la superficie con pasto cultivado (rye grass), y con diferentes especies de pastos nativos del lugar.

De esta manera la sociedad de Minas de Salsigne(MOS) al asumir con responsabilidad y decisión los trabajos técnicos necesarios para remediar la zona disturbada por esta presa de relaves, ha buscado no sólo sentar precedentes respecto del estricto cumplimiento que debe darse a las obligaciones derivadas de la normatividad ambiental Francesa vigente de protección al medio ambiente encuadrado en parámetros y objetivos que permitan alcanzar la metas con desarrollo.

1. Introducción

1.1. Presentación

la mina de oro de salsigne perteneciente a la sociedad MOS actualmente vierte en una presa de relaves llamada L'Artus que permite depositar los estériles provenientes del tratamiento aurífero sobre las playas inferior y superior.

La sociedad MOS desea concebir un proyecto de rehabilitación que va permitir asegurar la protección contra la erosión protegiendo el medio ambiente y salvaguardando el paisaje de su entorno .

El presente proyecto busca rehabilitar las laderas actuales hasta la cota 247. y a partir de esta cota realizar una especie de domo con el fin de alterar lo mas mínimo el paisaje actual

La partes mas altas (playas superior y inferior) serán realizados como un proyecto de rehabilitación en conjunto.

Actualmente las playas continúan siendo explotadas pero hasta la cota 252 donde se realizaran el cierre final

1.2. Objetivos del estudio

- Asegurar las laderas y las playas superiores de riegos de erosión
- Poner una cobertura definitiva en las laderas y las playas del deposito
- Asegurar a largo plazo la estabilidad del deposito
- Asegurar una integración vegetal y paisajista y una rápida integración con el medio ambiente.

2. Datos Generales

2.1. Ubicación del proyecto

La mina de oro de salsigne se encuentra al pie de los flancos de la montaña negra y a unos 15 kilómetros de la ciudad de Carcassonne al sur de Francia en la región de Languedon Roussillon

2.2. Contexto Geológico

2.2.1. La Estratigrafía

Los esquistos

Ellos constituyen un largo brazo de Este – Oeste monoclinal y ancha hacia el sur y de muchos kilómetros hacia el norte de la mina conformado por una seria de detritos potentes de muchas centenas de metros contienen algunos niveles volcánicos en la parte superior.



UBICACIÓN DEL LUGAR DEL PROYECTO

Una toma de datos sobre los monozirconos , contiene de fases meta volcánicos (métadacites de la serie de Series) permite atribuir a los esquistos X y el grupo de carbardes una edad protozoico terminal (age U/Pb sur monozirconos : 545 +/- 15 Ma). Al oeste de la región Martys / Mas-Cabardès, los esquistos son intrusiones en los granitos tardi – hercyniens.

2.1.2.- Contexto estructural.

Las unidades de la parte del norte y la parte central corresponden al emplazamiento de dos grandes capas que se a transportado y convergen al Sur_ Este de la zona axiale mientras que los esquistos forman la cobertura alloctona dela zona axial. El grado de aloctonismo de estas capas aun se discute hasta hoy ; la capa del Norte Minervoisis siendo así la mayor parte de las veces considerado como un para_ autóctono mientras la mayor parte central será aloctone (Arthaud1966) Intensamente deformado en el curso de la orogénesis hercynienne, esta capas forman dos pliegues de extensiónhectometrica hasta kilométrica luego los ejes son aproximadamente de Este Oeste. El pilar stratigráfico de estos terrenos paleozoicas esta invertida.

A la escala del yacimiento se distingue de este modo dentro de la unidad de Norte Minervoisis, y al oeste, la sinclinal de Fournes - Salsigne se sustituyo al este par anticlinal de Cabrespine.

Los plegamientos y el ensamble de estas unidades dentro de su posición actual es favorecido por grandes cortes dextres. El conjunto de lechos esta orientado 50° à 80° al norte y con hundimientos de 5° à 6° respecto al sur este.

2.3. Contexto Climático

El clima de la región de Salsigne es de tipo mediterráneo caracterizado por el verano caliente y seco y de abundante lluvias en el otoño y invierno , con intensidades que pueden ser considerables, es bueno remarcar sin embargo la influencia oceánica.

Otra característica importante es el viento, este fenómeno a hecho posible la instalación de molinos para generar energía eléctrica que cubre la demanda de las pequeñas ciudades estas se ubican en la parte sur del deposito de L'Artus.

2.2.1.- Estudio de la pluviométrica

La pluviométrica del lugar ha sido objeto de estudios detallados debido a las fuertes precipitaciones producidas en los años 1996 especialmente entre el 12 et 13 noviembre de 1999.

- Los datos de lluvias de lugar han sido proporcionados por la estación de Conques sur Orbiel .

- Los datos estadísticos sobre la lluvias cortas han sido proporcionados por la estación de Météor _ France.

En 1996 se caracterizo por una precipitación máxima probable(PMP) alrededor de 1170 mm (para un promedio de 700mm para la zona) con un periodo de retorno de 100 años

En 1999 se caracteriza por una pluviométrica total débil si retiramos los eventos del 12 y 13 de noviembre 480mm (para un promedio de 700mm para la zona)

Estudio de los datos máximos para 24 horas anuales de la estación Conques sur Orbiel.

Para hacer el calculo de las dimensiones del canal nos ayudamos de los datos siguientes :

- La superficie del deposito es de 36 hectáreas.
- Los datos de la estación de Conques sur Orbiel, permiti6 realizar una estadística de pluviométrica de todos los eventos producidos durante 30años a partir de 1962 a la fecha.

2.2.1.1 Análisis estadísticos de datos anuales y mensuales de la estación de Carcassone _ Francia.

(Cuadro 1)

Datos Generales de la lluvia													
Año	Enc	Feb	Mar	Abril	May	Junio	Julio	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Registro Máximo
1962	0	0	0	0	24.6	15.4	9.7	11.5	25	20.5	120.5	35.3	120.5
1963	10.3	23.4	14.6	30.3	13.8	39.8	13.7	33.1	45.0	4.3	9.9	25.0	45.0
1964	17.8	19.4	15.8	21.2	28.1	1.6	18.6	13.9	41.1	19.6	26.1	18.1	41.1
1965	22	26.8	9	15.6	30.7	17.9	9.7	31.8	14.0	81.7	16.7	34.8	81.7
1966	15.8	27.7	7.1	13.8	27.0	2.4	33.5	19.9	28.5	73.8	10.7	16.5	73.8
1967	13	23.8	6.3	10.2	11.8	9.5	8.7	0	4.1	17.5	18.2	18.1	23.8
1968	34.4	22.5	11.2	35.9	24.2	13.9	6	16.1	2.5	6.5	50.5	29	50.5
1969	11.6	17.6	70.1	31.8	11.8	5	14.1	46.5	38.4	35	5.8	34.6	70.1
1970	35.5	17.5	13.1	9.2	43.5	14.1	0	13.3	0.7	163.7	5.0	17.4	163.7
1971	16.4	29.0	32.5	16.7	12.1	10	10.2	7.4	58.1	9.5	17.9	115.2	115.2
1972	29.3	39.3	19.5	27.9	13.3	92.0	10.7	26.6	85.3	10.5	20.7	14.5	92
1973	45.6	60.1	1.9	5.7	5.8	63	8.2	3.6	22.3	9.5	17.9	40.2	63
1974	10.5	31.4	33.9	35.1	7.4	14.0	23.5	18.1	14.5	13.1	23.9	10.4	35.1
1975	18.5	8.5	32	12.3	14	26.3	9.6	22.7	14.2	1.4	20.2	10.4	32
1976	15.5	24	15.2	21	14.7	17.3	18.2	12.2	34.5	25	16	28.5	34.5
1977	35	8	5.6	13.2	77	16	12	12	1	48	19	11	77
1978	21	25.3	36	17.8	11.4	12.0	6.3	2.0	21.0	8.3	2	10	36
1979	34.6	21	14	13.2	17.5	10.2	2.3	18.5	22.5	56.0	15.2	24.0	56
1980	32.9	4.4	14.5	16.5	42.6	7.2	16.9	84.5	10.8	21.9	22.0	16.6	84.5
1981	61.8	14.1	7.3	28	14	32	5.1	14.3	6.0	15.1	4.2	45.0	61.8
1982	74.5	47.6	10	21.5	8.7	17.2	7.3	36.6	20.4	29.3	7.7	24.2	74.5
1983	3.8	13.5	6.1	5.4	10.7	45.9	4.6	27.7	8.4	6.7	12.7	10.5	45.9
1984	15.5	26.6	61.5	11.2	48.8	12.7	10	16.5	16.3	5.6	33.1	11	61.5
1985	10.3	30.7	12.2	20.8	30.6	15.6	8.2	10.2	0	110.5	15.6	14.2	110.5
1986	50	7	11	24.6	2.8	4.7	3.3	16.3	11.5	17.	10.8	19.2	24.6
1987	8	9.6	22.5	5.8	16.8	4.8	40	15.2	5.8	46.3	15	10.9	46.3
1988	30.4	11.7	43.3	42.1	11.2	13.0	6.3	17.3	11.8	5.5	18.2	12.3	43.3
1989	12.6	22.3	6.1	38.7	2	1.3	5.3	24.3	20.1	5.8	10.4	5.3	38.7
1990	2.7	67.2	7.8	9.5	38	8.8	41.0	30	9.6	41.5	5.8	14.8	67.2
1991	10.2	18.4	52.7	15.3	26.1	18.2	4.9	15.2	20.8	39.2	10.3	24.2	52.7
1992	50	5.1	10.2	38.3	9.6	50	14.2	9.5	56.5	40	11.3	14.7	56.5

2.2.1.2 Análisis de lluvias por 24 horas (estación de Conques sur Orbiel)

(cuadro 2)

Estadística de la lluvia		
Lluvia /24H	R	P = R/N+1
163.7	1	0.031
120.5	2	0.065
115.2	3	0.094
110.5	4	0.125
92	5	0.156
84.5	6	0.188
81.7	7	0.219
77.8	8	0.25
74.5	9	0.281
73.8	10	0.313
70.1	11	0.344
67.2	12	0.375
63	13	0.406
61.8	14	0.438
61.5	15	0.469
56.5	16	0.5
56	17	0.531
52.7	18	0.562
50.5	19	0.594
50.1	20	0.625
46.3	21	0.656
45.9	22	0.688
45	23	0.719
43.3	24	0.75
41.1	25	0.781
38.7	26	0.813
36	27	0.844
35.1	28	0.875
34.5	29	0.906
32	30	0.938
23.8	31	0.969

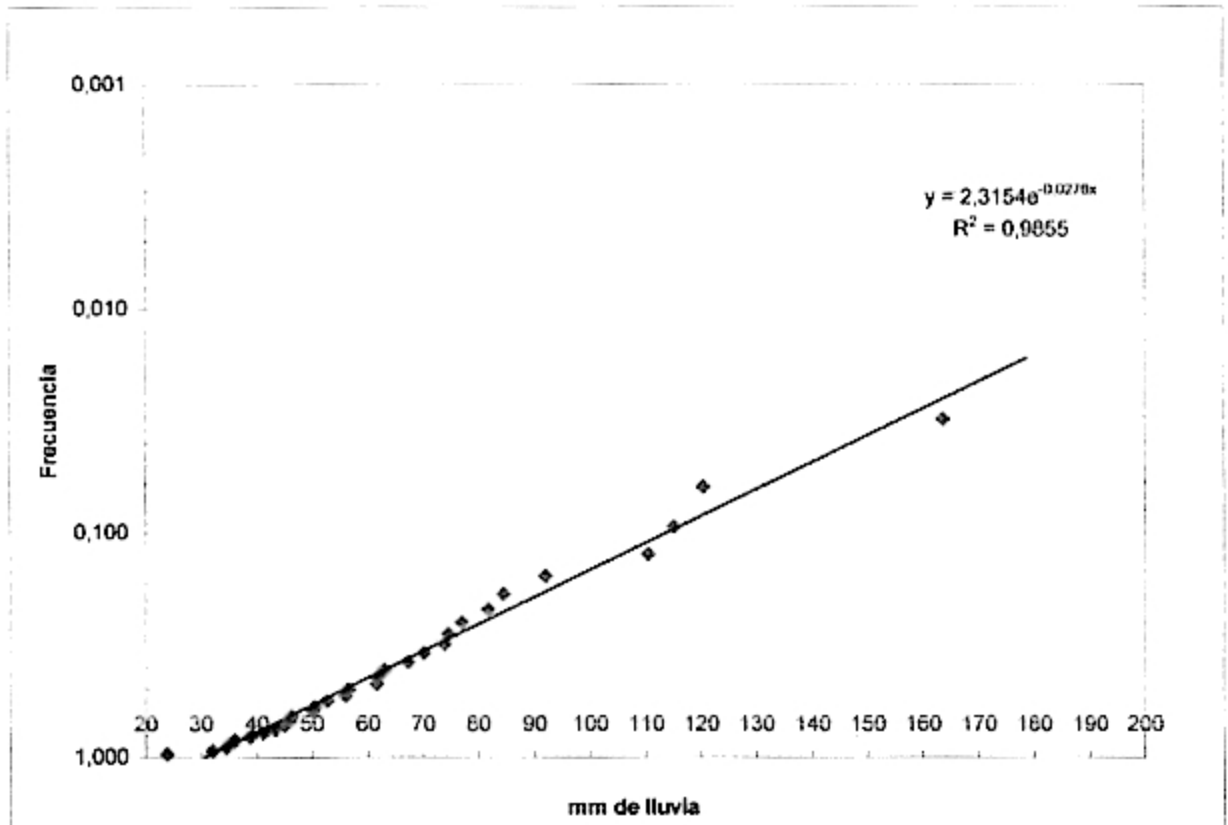
D = años

P = Estadística de la lluvia /24 horas

N = Numero de años = 31

Curva de regresión para los años 1962 –1992

(Cuadro 3)



Con la curva de regresión se calcula la altura de lluvia durante 24 horas

10 años	=	113.8mm
100 años	=	197.3mm
1000 años	=	280.7mm
10000 años	=	364.1mm

2.2.1.3 Análisis de lluvias cortas (Grafico de Grumbel)

El análisis estadístico de las lluvias cortas (duración en minutos - horas)
Los cálculos se realizaron para un periodo de retorno de 100 y 1000 años

(Cuadro 4)

Los valores para 10, 100 et 1000 años			
Duración	Lluvia (mm) Por 10 años	Lluvia (mm) Por 100 años	La lluvia (mm) Por 1000 años
24h	114	198	280
12h	100	159	200
6h	69	112	143
3h	50	80	110
2h	45	73	99
1h	38	63	87
0.5h	31	50	80

Nota : lluvia del proyecto es una lluvia milenal

Intensidad de la lluvia en función a su duración

Por el calculo de tiempo de concentración(Tc) se dividió el deposito en 2 partes

Formula de Montana : $h = atb$

$$\text{Log}80 = \text{log}a + b\text{log}30 \dots\dots\dots 1$$

$$\text{Log}87 = \text{log}a + b\text{log}60 \dots\dots\dots 2$$

$$(2 - 1) \text{log} 87 - \text{log}80 = b(\text{log}60 - \text{log}30) \Rightarrow b = 0.12$$

$$\text{donde } \text{log}80 = \text{log}a + (0.12)\text{log}30 \Rightarrow a = 53.19$$

Para el calculo yo divido el deposito vertiente en dos partes

Por cada superficie el resultado son los siguientes :

Superficie 1 = 171 838 m²

Superficie 2 = 186 072 m²

Superficie de deposito vertiente = 357 910 m² = 36 Ha

Calculo de Tiempo de concentración (Tc) de deposito vertiente por la formula de Ventura :

A : Superficie de deposito versante

PN : Pendiente promedio de deposito de relaves

$$PN = \frac{\text{Cot max} - \text{Cot min}}{388} = \frac{252 - 160}{388} = 0.242$$

$$Tc1 = \sqrt{0.1272} \times \sqrt{0.17} \quad 0.242 = 0.107(\text{horas})$$

Es decir : Tc1 = 6 minutes

$$Tc2 = \sqrt{0.1272} \times \sqrt{0.18} \quad 0.242 = 0.11(\text{horas})$$

Es decir : Tc2 = 7 minutos

$$I = 53.19 t - 0.12$$

$$\text{Versante 1} = 53.19(360) - 0.12 = 26.24 \text{ mm / s}$$

$$\text{Versante 2} = 53.19(420) - 0.12 = 25.76 \text{ mm / s}$$

Calculo del Caudal máximo probable

$$Q = 0.278 \times C \times I \times A$$

$$C = \text{coeficiente de escorrentía} = \alpha \times \beta \times \chi = 0.68$$

Donde :

$$\alpha = \text{Coeficiente de permeabilidad del terreno} = 0.85$$

$$\beta = \text{Coeficiente de superficie} = 0.8$$

$$\chi = \text{Coeficiente de pendiente} = 1.0$$

$$Q1 = 0.278 \times 0.68 \times 26.24 \times 0.17$$

$$Q1 = 0.84 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q2 = 0.278 \times 0.68 \times 25.76 \times 0.18$$

$$Q2 = 0.87 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q = Q1 + Q2 = 1.7 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Calculo de la sección del canal

$S = Q/V$ ó $V = L/Tc$ donde L = longitud del deposito t = Tiempo de Concentración

$V1 = 388/360 = 1,07$ m/s $V2 = 388/420 = 0,92$ m/s

Tabla de resumen

(Cuadro 5)

Duración (años)	Tiempo de concentración (minutos)	Intensidad (mm)	Caudal (m3/seg)	Velocidad (m/seg)	Sección (m2)
10	t1 = 6	2.02	0.135	1.07	0.13
	t2 = 7	1.93		0.92	0.14
100	t1 = 6	2.27	0.141	1.07	0.13
	t2 = 7	2.15		0.92	0.15
1000	t1 = 6	26.24	1.72	1.07	1.6
	t2 = 7	25.76		0.92	1.8

Cuadro de valores para un tiempo de retorno millenal
La sección existente es suficiente ?

Para el caudal hallado con una lluvia milenar las fosas de colección existente no son suficientes, el flujo tiende a rebalsar

2.5. Aspectos sísmicos del área

El Depósito de relaves de L'Artus va a ser capaz de resistir cargas sísmicas importantes, Máximo Terremoto Creíble (MTC). El método de crecimiento de aguas arriba con materiales de relaves cicloneados colocados no son compactados; por lo tanto, no se espera que permanezcan estables bajo altas cargas sísmicas, pero el área que se sitúa el depósito carece de eventos sísmicos importantes, el más importante fue en 1945 con un evento sísmico de 3° en la Escala de Richert. Por esta razón no se tiene en cuenta para el cierre los eventos sísmicos en la zona.

3. Base de datos obtenidos para el estudio

3.1. Cuadro de planos

Los planos para el estudio fueron realizados a la escala 1 : 1000 según cuadro standart que cubre el deposito de almacenamiento

X = 604650 à 605650

Y = 112050 à 112870

Los documentos están en coordenadas Lambert y orientados al norte y en cotas NGF (IGN 69)

El proyecto de remediación fue realizado en 3 dimensiones

El calculo de volúmenes se efectuó por comparación entre dos superficies Topográfico (proyectado / actual)

3.2. Topografía actual

La topografía actual fue realizado en septiembre de 2001 y luego se creo una base topográfica en formato CORALIS.

La escala topográfica fue realizado 1/ 1000

3.3. Registros Topográficos

Los puntos topográficos descritos sirvieron como base para realizar la topografía del terreno y los cortes necesarios para delimitar el deposito.

Pto Topográfico			
1	9143373	840;210393	614;2583
2	9143375	282;210401	562;2584
3	9143384	425;210398	460;2583
4	9143386	192;210396	564;2583
5	9143387	815;210397	673;2584
6	9143392	945;210391	578;2583
7	9143402	711;210378	859;2583
8	9143400	249;210381	833;2585
9	9143395	676;210387	409;2583
10	9143392	386;210391	471;2583
11	9143389	372;210395	045;2583
12	9143387	360;210397	396;2583
13	9143400	324;210377	089;2583
14	9143395	261;210383	285;2583
15	9143390	520;210389	303;2583
16	9143386	521;210386	211;2583

4. Emplazamiento y características de la presa de relaves de L'Artus.

4.1. Localización de lugar de L'Artus

El lugar de Salsigne esta ubicado dentro de l'Aude, a unos quince kilómetros al norte de la ciudad de Carcassonne, al pie de la montaña negra sobre el plano geológico el lugar es muy complejo y se comporta como una acumulación de minerales sulfurados que contienen diversos metales como el Hierro, Cobre, arsénico y bismuto.

Las playas de L'Artus están situados a lo largo de un valle que desembocan sobre el l'Orbiel y llamado « Campo de L'Artus ». muy cerca de la nueva planta de tratamiento de mineral.

4.2. Geología.

La geología del deposito esta constituido por dos series bien diferenciado una de la otra : La formación paleozoicas metamórfica del cambriano superior y la serie sedimentaria transgresiva oceánica que vino a recubrir las discordancia de la base paleozoica.

La poza de retorno y la media oeste de la poza inferior esta ubicado dentro del substrato paleozoico sin embargo la parte de la poza inferior esta sobre una formación terciaria.

La base calcárea de Vitrollien inferior aparece alrededor de la cota 206m.ellos aparecen como nódulos calcáreos de color blanco a crema

A la cota 211-215 reaparecen los esquistos y a la cota 215 reaparecen cada vez mas los marnos _calcáreos de diversos tintes.

A la cota 230 se aprecia un contacto anormal con los calcáreos blancos de Montredon.

En fin al pies de los flancos Norte y Nor-Este de la playa inferior el material es argilosa esta aflora dentro de la fosa larga que accede al deposito(color gris con una importante rubefacción perfecta).

4.3. Hidrografia

Los canales de contorno del deposito

Para la evacuación de aguas del lugar existen dos fosas de contorno Llamados Norte y Sur.

La fosa norte intercepta en la periferia del deposito una gran parte de aguas del terreno. La fosa sur comienza después del deposito, el colecta las aguas de los terrenos sobre la plataforma donde se ubican los aspas de molino y los desechos sobre el sur.

El problema de las dos fosas es la presencia de arenas y marnos calcáreos muy sensibles a la erosión.

4.3.1. Los canales de colección

Las dos fosas son de sección trapezoidal promedio con una profundidad promedio de 1mt y un abertura de 3 a 4 MT permiten coleccionar las aguas de los flancos y de los drenes de PVC proveniente del deposito.

Sin embargo en la fosa sur existe un drenaje metálico de color rojo, donde se encuentran valores altos de conductividad y el potencial redox que indica una fuerte presencia de carga metálica.

En la parte antes del deposito el material es mas argiloso y en la parte después del deposito son calcáreos. Dos pozas de decantación que fueron realizadas a la cota 190 en los muros del vitrollen inferior.

4.3.2. Las salidas del deposito

En el deposito los lechos mas importantes se producen en las playas inferior y superior porque estas se comportan como un deposito de retención de las aguas de lluvias.

En los flancos no se produce ninguna gestión por las aguas pero la posibilidad de retención se produce en los talud después del deposito .

La poza de retención y recirculación de las aguas

La poza de retorno es un punto importante en la recolección de todo el agua que discurre del lugar.

El funcionamiento es muy excepcional pues el agua que cae del lugar no se queda allí esta es bombeada a la planta para su reutilización.

En este momento no existe flujos de agua de lugar que pueda contaminar al río mas próximo l'Orbiel que se encuentra a pocos metros de la poza de recolección .

Por aumentar la capacidad de almacenamiento de agua se ha construido un segundo deposito.

4.4. Material del lugar.

Dentro del lugar se encuentran importantes materiales que servirán para La rehabilitación de la presa de relaves de L'Artus como :

4.4.1. Los esquistos

Este material se compone de piedras gruesas con una cierta permeabilidad. este es posteriormente puesta entre las bermas de cota 215 – 225 de la playa inferior este material se encuentra pocas distancias del lugar con fuertes variaciones y en buena cantidad.

Una de las cualidades muy importantes de este material es su resistencia a la erosión.

4.4.2. Los Marnos – Calcarios

Este material se encuentra entre las bermas de cotas 215 - 225. estos fueron puestos en el lugar después del evento de 1999 donde se produjo una lluvia con precipitación máxima probable que provoco en el deposito una abertura de grandes dimensiones .

Su color varia de blanco a crema y es de apariencia permeable. Su característica muy importante es la resistencia a la erosión.

4.4.3. Los lodos y arenas finas del cicloneados

Los productos finos son clasificados mediante cicloneado dentro de la zona de playa y las arenas son depositados en el talud(la fracción gruesa).

Su color es gris y a profundidades este material se satura y conserva su consistencia .

Las arenas son de colores variables y son sensibles a l'erosión .es por esta razón que es necesario proteger el talud con una cobertura contra la agresión meteorológica.

El material de cobertura para el talud de arenas es el marno – calcáreos coluvionicos (un producto limoneux compuesto de cantidad de piedras y grava calcaría resistente a la erosión).

En el deposito de L'Artus se realizo un tes. de infiltración por evaluar la capacidad de resistencia del suelo el resultado es de 5×10^{-5}

4.4.4. Las escorias

Son de color negro proveniente de tratamiento pyrometalurgico. Se utilizo dentro de deposito como material drenante, Su característica importante es su permeabilidad y un contenido alto de arsénico.

4.5. Aberturas en las laderas y playas del deposito

Dentro del lugar de la presa de relaves de L'Artus se produjo 2 fenómenos que dejaron como resultados brechas pequeñas pero muy espectaculares que complicaron la estabilidad del deposito.

La agresión meteorológica produce brechas en la arena y sobre la cobertura de los esquistos, en las laderas y sobre la pista que vierte el flujo

Por ejemplo la lluvia excepcional de 1999 dejo un brecha de 5- 6 m con un perfil en U y sobre la prolongación de la ladera se encontró una brecha pequeña, la mayoría se encuentra sobre la parte norte del lugar.

Aunque los esquistos son resistentes a la erosión sin embargo existen algunas

zonas donde se encuentran brechas de diversas naturaleza como el agua que se concentra dentro de las aberturas del terreno y erosiona los esquistos sin presencia aun de vegetación.

Las marcas de la erosión meteorológica se producen en puntos de concentraciones de agua , otros fenómenos como el hundimiento de pared se producen sobre los sables (causado por el clapotis) aparecimiento de brechas de dimensiones variables, como el hundimiento de la bermas 240 que deajo un orificio de dimensiones considerable.

En el lugar L'Artus existe de vientos violentos que producen una fuerte erosión eólica sobre el talud de sables y lodos finos.

Todos los fenómenos mencionado anteriormente muestran una inestabilidad sobre los flancos norte y sur del deposito.

4.6. Funcionamiento hidrológico

para el funcionamiento hidrológico se analizo puntos muy importante de una ocurrencia de desborde como :

Berma 225 : la característica mas importante es el largo = 25m para un almacenamiento de agua importante.

Berma 237 : La superficie es mas reducida con una largo = 9 – 15 m de playa inferior y no hay desborde

El talud arenoso : De pequeñas brechas denantes si hay crecidas no hay riesgo de desborde

Playa superior : no hay ocurrencia de desborde.

5. Caracterización de los estériles mineros del deposito de L'Artus

5.1. Generalidades

Los residuos de tratamientos minero son depositados y almacenados bajo su forma de pulpa y realizados por el método de aguas arriba

El método de crecimiento de aguas arriba se lleva a cabo mediante la descarga de materiales de relaves hacia aguas arriba desde spigots o baterías de ciclones ubicados en la cresta de la presa.

Los aumentos o elevaciones sucesivas de la presa de relaves por encima de la cresta de la presa de arranque, se desplazan progresivamente hacia aguas arriba formando así la cara aguas abajo de la presa. Los materiales de relaves colocados mediante el método de crecimiento aguas arriba no son compactados; por lo tanto, no se espera que permanezcan estables bajo cargas sísmicas que ocurren en zonas con altos niveles sísmicos, en L'Artus casi no se produce movimientos sísmicos.

En Los residuos son cicloneado produciéndose una fracción de arena fina de 20% y una fracción gruesa argilosa de 80%.

La fracción arenosa es utilizado dentro de la zona aval y los finos dentro de la zona amont. El deposito de los estériles es realizado por 5 ciclones funcionando simultáneamente aproximadamente 95m³/h cada uno.

5.2. Principio de desplazamiento de los ciclones.

Los ciclones son dispuestos sobre la periferia del deposito y el movimiento de estos es realizado en 3 etapas.

Dentro de la primera etapa los sables son depositados sobre la zona fuera del deposito y los lodos al interior del deposito

La segunda etapa en el momento que la cúspide de los conos alcanzan a los ciclones estos son desplazados a la vez al interior del deposito y volver a repetir el ciclo. Por razones de estabilidad al momento de realizar las bermas el cicloneado es interrumpido, la cima de los conos son arrastrados y el sobrante es utilizado para realizar la berma .

5.3. Características de los estériles almacenados

5.3.1. Origen del producto.

Los estériles provienen de dos orígenes:

- Los antiguos depósitos mineros de lugar
- El tratamiento de estériles de la actual mina de oro.

5.3.2. Tratamiento de estériles antiguos y actuales.

Nosotros sabemos que los diferente metales obtenidos de la mina provienen de los sulfuros, la recuperación se realiza mediante el proceso piro metalúrgico donde los estériles procedente de la flotación son depositados para su monitoreo y formar los antiguos depósitos de estériles .

El proceso de tratamiento actual es el siguiente :

Los sulfuros son separados por lavado y luego cianurado para recuperar el oro Luego de la destoxicación los sulfuros son puestos en el nuevo deposito de Montredon,

Los estériles procedentes de la flotación contienen aun un poco de oro producto del tratamiento pero son almacenados en el deposito de L'Artus

5.4. Características químicas del producto

Luego del tratamiento se encuentra los minerales siguientes:

Pirita y Pirrotina
 Arsenopirita (mispickel)
 Calcopirita

Ensayo de lixiviación de arena y lodos

(Cuadro 6)

Antes de la lixiviación								
	As%	S%	Ca%	Cd.ppm	Bi.ppm	Pb.ppm	Cu.ppm	Cr.ppm
Schlamms	0.61	1.6	4.45	<0.1	87	<25	140	18
Sables	0.83	1.7	3.42	<0.1	95	<25	180	15
Después de la lixiviación								
	As%	S%	Ca%	Cd.ppm	Bi.ppm	Pb.ppm	Cu.ppm	Cr.ppm
Schlamms	0.54	1.2	4.70	<0.1	50	<25	140	17
Sables	0.74	1.4	3.22	<0.1	47	<25	170	16

Nota : La cantidad de arsénico en la arena es bastante fuerte que en los lodos.

5.5. Investigaciones geotécnicas de campo

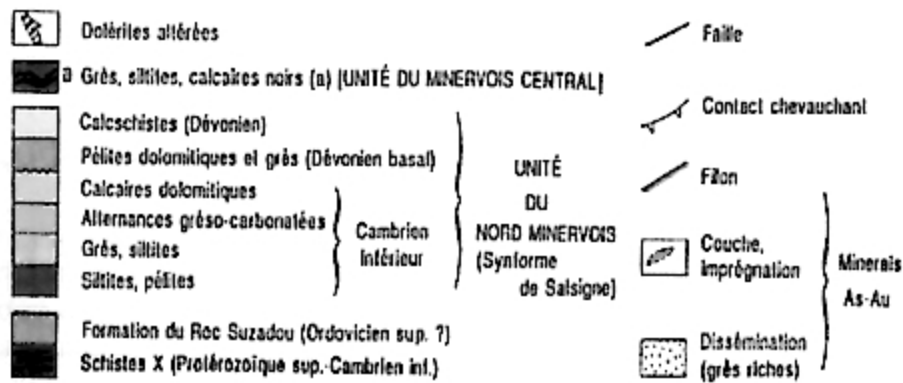
5.5.1. Sondajes

Este método es muy importante para la determinación de las capas naturales donde se establecen las presas de relaves muchos sondajes se realizaron para extraer muestras de mineral en el curso de la explotación or establecer una correlación entre la producción / contenido fino de mineral

Dentro del lugar de la presa de L'Artus se extrajo muestras de desechos de mineral se nota la presencia de lodos grises ou amarillo ,sulfato de cobre azulado a la salida se nota ausencia de vegetación

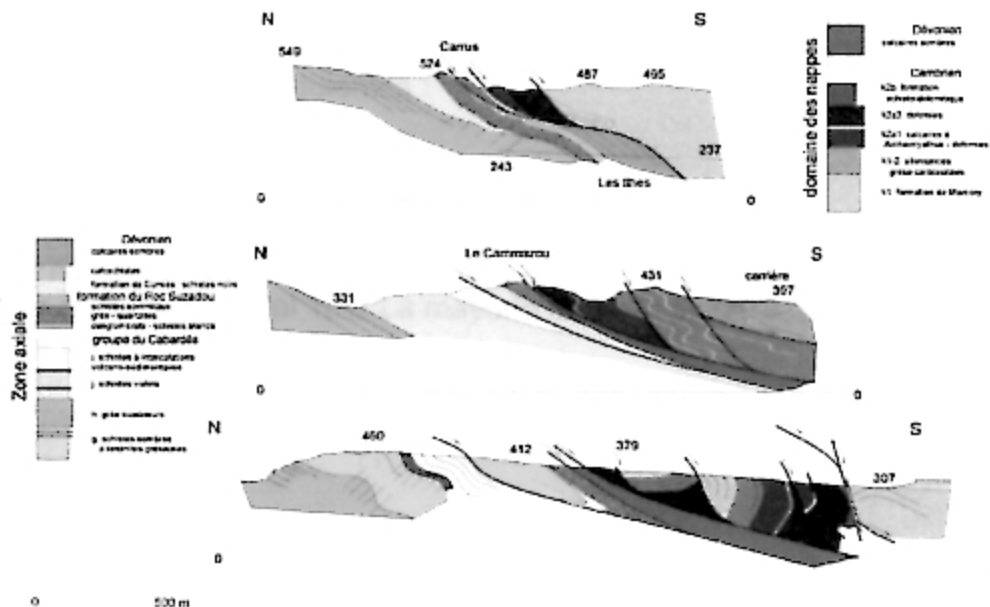
5.5.2. Calicatas

En el transcurso de la explotación no se realizaron calicatas ,salvo al inicio de las operaciones para determinar los diferentes tipos de estratificación del terreno ver figura



5.5.3. Suelos

El deposito de L'Artus que almacena una cantidad considerable de de pulpas de estériles están situados sobre un suelo terciario de esquistos, calcarios y cuarcitas



5.5.4. Profundidad de la napa freática

Debajo de la presa no existen niveles acuíferos importantes, en las playa superior e inferior del deposito se encuentran 12 piezómetros que constantemente realizan el control de la napa freática, esta reporta directamente a una oficina de control del acuífero la napa freática mas próxima en caso de eventos importantes de pluviométrica esta asciende a 50 mts de profundidad debajo de la zona terciaria, a la roca mas esta información que se lleva a diario reporta directamente a una oficina de control

5.6. Características Físicas del producto

5.6.1. La Permeabilidad

Para la arenas :

La permeabilidad en la arena varia entre e 1.1×10^{-5} . et 5×10^{-5} 5m/ por un coeficiente de permeabilidad de Darcy (zona terciaria) del orden de 5×10^{-9} después de realizar un Test. de infiltración insitu el resultado est. : 5×10^{-5} . Los lechos de agua subterránea dentro de la zona calcare sont orientados al NNW - SSE.

Para los lodos :

En función a su consolidación los resultados son los siguientes : la permeabilidad varia entre 1.1×10^{-5} . et 5×10^{-5} m/s

5.7. Características mecánicas

En curso de los diversos estudios sobre la estabilidad del deposito y medición de la granulometría y los ensayos mecánicos realizados, los resultados son los siguientes :

Granulometría

Dentro de los sables se encuentra partículas inferiores a 80 micras que están debajo del 15%. La mayoría es de la clase 0.1 / 0.2mm que son las arenas finas.

Para los lodos se encuentran partículas que representan mas del 36% de la masa.

Resistencia mecánica (Datos de la sociedad de salsigne)

(Cuadro 7)

Sedimentos (Mezcla de arenas y lodos)	$\gamma_h \sim 20 \text{ kN/m}^3$	Ensayo triaxial CU + U	Ensayo de corte CD
		φ' promedio = 38° φ' mínimo = 33	φ' promedio = 35° φ' mínimo = 32

De estas medidas los valores siguientes son los que se tomaron para los cálculos

Materia	$\gamma (\text{kN/m}^3)$	$\varphi' (^\circ)$	$C' (\text{Tn /m}^2)$
Arenas cicloneado	14	30	0
Lodos	13	2 - 3	0,5 - 1

5.8. Elaboración de cortes de deposito

A partir de los datos de Mica environnement (topografía del proyecto) y la topografía actual de Salsigne se determino los cortes del deposito, realizando interpolaciones de ciertos puntos.(ver corte en anexo)

5.9. Los diques

Ellos son constituidos de material del lugar como los marnos _ Calcáreos y Material aluvionico. Los diques fueron construidos para permitir delimitar el contorno del deposito.

5.10. Los drenajes subterráneos

La evacuación de agua es realizada por tres conductos que desembocan al pie de la presa aguas arriba.

Por los drenajes de superficie se encuentran dos pozos que permiten el drenaje de agua de cicloneado.

Estas obras son los que colectan todo el agua mediante un tapiz drenante ubicada en aguas abajo.

5.11. El drenaje exterior

Estas son dos fosas que colectan el agua que se evacua hasta la fosa de retorno.

5.12. La poza de retorno

La fosa de colección de agua de retorno es muy importante pues el recupera las aguas de las pentstocks y las fosas de colección por el momento esta fosa es impermeable y no permite la la contaminación de las aguas del deposito con el río mas próximo (l'Orbiel).

6. La Hidrología actual

6.1. La división en depósitos versantes del lugar de L'Artus

El deposito fue dividido en 6 depósitos drenantes

La playa superior ,BV1

La playa inferior , BV2

Los flancos del deposito VB3

Los apoyos norte en aval VB4

Los apoyos Sur en aval VB5

6.2. Las playas superior y inferior

La superficie en conjunto es de 138000 m², la evaporación es muy débil el agua que se encuentra es producto del cicloneado

Durante una lluvia de 24 h el volumen de infiltración es muy pequeña y no cuenta para el balance hidrográfico

6.3. Los flancos del deposito

El deposito de L'artus se divide en 6 depósitos drenantes

VB 31

VB 32

VB 33

VB 34

VB 35

VB 36

6.4. Los estanques de la zona Norte y Sur

Ellos son los estanques que sirven de apoyo a fuerte pendiente que vierten directamente al deposito de retorno(para su reutilización)

6.5. Calculo de coeficiente de escorrentia y su aplicación al deposito de L'Artus

Para los diferentes tipos de suelos se encuentra los valores siguientes de

$$\alpha \beta \delta$$

Lodos cerca de 1.00

Cobertura de esquistos con fuerte pendiente y cobertura herbáceo

$$0,8 \times 0,7 \times 1 = 0,56$$

Arena a Sable fuerte pendiente sin cobertura vegetal

$$0,65 \times 0,9 \times 1 = 0,59$$

Arena a débil pendiente sin cobertura vegetal

$$0,65 \times 0,9 \times 0,5 = 0,30$$

Terreno natural con fuerte pendiente y cobertura vegetal

$$0,85 \times 0,55 \times 1 = 0,47$$

6.6. Control de la calidad de aguas industriales en salsigñe

En el distrito de Salsigñe se distingue tres aguas industriales provenientes de :

- Las aguas de Montredon
- Las aguas del deposito de L'Artus
- Las aguas del estanque de retorno del deposito de L'Artus, que concierne a una mezcla de los dos precedentes

E el año 2000 se realizaron el monitoreo de las mismas y los análisis promedios anuales de calidad de agua fueron los sgts:

	arsenico (mg/l)	Cianuro WAD (mg/l)	Cianuro libres (mg/l)	pH	Cobre (mg/l)	Fierro (mg/l)
Deposito de Montredon	19.43	134.88	-	8.29	260.95	8.67
Deposito de L'Artus	3.24	11.7	-	8.29	24.22	2.89
Estanque de retorno de L'Artus	7.28	42.63	3.8	8.29	96.22	1.85

El calculo por estimación de agua de escorrentia es hecho a partir de una lluvia milenal igual a 280 mm/h para 24h superior a la lluvia excepcional por 48 h de 1999

(Cuadro 7)

BV	superficie	Lodos	Cobertura de esquistos	Arena a fuerte pendiente	Arena a débil pendiente	Terreno natural	Cr	Volumen de escorrentia	Volumen de escorrentia
		1	0.56	0.59	0.3	0.47		m ³	m ³ / h
Bv1	81000	100%	-	-	-	-	1	22000	900
Bv2	57000	100%	-	-	-	-	1	16000	670
Bv31	47600	-	-	30%	70%		0.39	5200	220
Bv32	68500	-	50%	8%	2%	40%	0.52	10000	420
Bv33	63500	-	50%	40%	10%	-	0.52	9250	250
Bv34	15000	-		40%		60%	0.42	1800	75
Bv35	13000					100%	0.47	1700	70
Bv36	10100					100%	0.47	1330	55
Bv4	11000					100%	0.47	1450	60
Bv5	16000					100%	0.47	2100	90

7. Proyecto de mejoramiento de la presa de relaves de L'artus

7.1. Objetivos

- Asegurar a largo tiempo una resistencia a la erosión
- Controlar la cantidad y calidad de agua a tratar
- Asegurar la integración paisajista dentro del medio ambiente
- Controlar todas las napas de agua libre sobre las playas

7.2. Calculo de la estabilidad del deposito al final de proyecto

7.2.1.- Análisis de la estabilidad estática.

Para hacer los análisis de estabilidad nosotros utilizamos el método de Bishop que es mas preciso que el de Féliénus.

Los coeficientes de seguridad obtenidos son en general un poco mas elevados. cuando se considera dos perfiles longitudinales obtenemos resultados alrededor de 1.37

Para el calculo no se ha tenido en cuenta el aspecto sísmico porque dentro de la zona de estudio no hay fuerte intensidad sísmica.

7.2.2.- Grafico del circulo critico

El circulo critico se traza a partir del pie de talud hasta detrás de la cresta para una radio de 309 m , el circulo se traza tangencialmente al pie del talud .se ha tomado en consideración que el talud se compone de 5 mts de arenas y el resto es lodos.

7.2.3.- Calculo del factor de seguridad del deposito

se desarrollo el método de rebanadas por rupturas circulares; la masa de tierra susceptible de deslizar es cortada en rebanadas verticales tal que la línea de deslizamiento corresponde a cada uno de ellos dentro de un mismo medio.

El peso W_n se puede descomponer sobre la línea de deslizamiento en dos fuerzas normales N_n y tangencial T_n

Características del material

Arena $\gamma = 1,4 \text{ T/m}^3$ $\varphi = 30^\circ$ $C = 0$

Schlamms $\gamma = 1,3 \text{ T/m}^3$ $\varphi = 3^\circ$ $C = 0,5 - 1 \text{ T/m}^2$

(Cuadro 8)

# de segmentos circulares		α	seno α	cos α	$T = P \text{sen } \alpha$	$N = P \text{cos } \alpha$	$N \text{tg } \varphi$
1	2861,57	-9	-0.156	0,988	-449-6.41	2827,23	1631,31
2	12030,82	-5	-0.087	0.996	-1046.86	11982,70	6914,02
3	17878,21	0	0	1	0	17878,21	10315,73
4	22374,52	5	-0.087	0.996	1946,58	22285,02	12858,46
5	25489,02	9	-0.156	0,988	1946,58	25183,15	14530,68
6	27170,36	14	0,242	0,97	6575,23	26355,25	15206,98
7	27342,73	20	0,342	0,948	8913,73	25866,23	14924,81
8	25913,07	25	0,423	0,906	10961,23	23477,24	1220.82
9	22796,81	30	0,5	0,866	11398,41	19742,04	1026,59
10	17653,45	35	0,574	0,819	10133,08	14458,18	751,83
11	8368,82	40	0,643	0.766	5381,15	6410,51	333,35
12	798,30	45	0,574	0.707	564,40	564,40	29,35
					58357,01	197030,17	79743,91

$$\Sigma T = 58357,01 \quad \Sigma N = 197030,17 \quad \Sigma NTg\phi = 79743,91$$

$$\text{Radio} = 309 \text{ m} \quad \phi = 52^\circ \quad \phi = \text{Angulo de frotamiento del material}$$

$$FS = \frac{\Sigma NTg\phi + C l}{\Sigma T}$$

Ou

C = cohesión

ϕ = Angulo del círculo

ϕ = Angulo del círculo

$$L = \text{Arco del círculo critico} = \phi \times \pi (3.1416) / 180 \times R = 280$$

ΣT	ΣN	$\Sigma NTg\phi$	Radio (m)	C (tn / m2)	ϕ	L	FS
58357,01	197030,17	79743,91	309	0) (Arena)	52°	280	1.37
				0.5 – 1.0 (Lodos)			

El coeficiente de seguridad que se encuentre anteriormente no es suficiente para asegurar una estabilidad indefinida de la presa de relaves.

Según los usos de vigor (cours de M. Yves Lebegue) un coeficiente de mas igual a 1.6 será indispensable

Sin embargo los cálculos que fueron realizados con datos mas reales se aproximaran a un coeficiente real tomando en consideración una composición de la presa como homogénea dentro de la parte de lodos en función a la historia de este dique no existe un caso parecido al que se estudia .

Es conveniente efectuar de ensayos insitu o un penetrómetro por verificar la cifras sobre todo la altura del presa y rehacer todo el calculo anteriormente obtenido.

Estos verificaran y podrán concebir un reforzamiento externo de la presa por llegar a obtener el coeficiente de 1,6.

7.3. Descripción del proyecto

7.3.1 Descripción inicial del proyecto

7.3.2 Las pendiente iniciales (Plano topográfico)

Para determinar el Angulo de inclinación de pendientes se realizo 12 cortes (Ver el anexo)

Corte A – A	Corte G – G
Corte B – B	Corte G' – G'
Corte C – C	Corte H – H
Corte D – D	Corte J – J
Corte E –E	Corte K – K
Corte F – F	Corte L– L

7.3.3.- Las pendientes finales

(El plano de proyecto presenta varios cortes que modifican la pendiente anteriormente diseñado por la contratista Mica environnement)

Corte A – A	Corte L– L
Corte B – B	Corte G – G
Corte C – C	Corte G' – G'
Corte D – D	Corte H – H
Corte E –E	Corte J – J
Corte F – F	Corte K – K

7.3.4 Resumen Calculo por el corte y relleno

(Cuadro 9)

Corte	Pendiente Inicial			Pendiente Final			Operación	Volumen
	Z	α	largo	Z	α	largo		
A - A	238 - 246	18	23	238 - 246	23	14	Cobertura de esquistos	1800
	246 - 247	10	10	243 - 247	18	12		
B - B	230 - 241	14	38	230 - 241	14	38	Cobertura de esquistos	2000
	241 - 243	7	19	241 - 243	7	19	Corte sobre el talud	500
	243 - 247	12	18	243 - 247	12	18	Cobertura de esquistos	500
C - C	221 - 227	17	21	221 - 230	16	26	Cobertura de esquistos	1500
	227 - 236	16	20	230 - 236	24	25		
	238 - 243	18	17	238 - 246	30	14	Cobertura de esquistos	1100
D - D	206 - 215	16	20	206 - 215	16	20	Cobertura de esquistos	400
	215 - 225	20	27	215 - 230	18	35		
	225 - 235	28	28	230 - 239	32	17	Cobertura de esquistos	1500
	235 - 246	16	26	239 - 247	32	15		
			247 - 251	13	35			
E - E	200 - 215	20	50	200 - 215	20	50	Cobertura de esquistos	3300
	215 - 227	20	41	215 - 227	20	41	Corte sobre el talud	9300
	230 - 236	18	14	227 - 240	28	22	Cobertura de esquistos	1500
	237 - 242	13	25	240 - 247	30	18		
			247 - 251	16	10	Cobertura de esquistos	1600	
F - F	190 - 215	18	60	190 - 215	18	60	Cobertura de esquistos	1100
	215 - 225	20	35	215 - 225	25	40		
	225 - 237	27	25	225 - 237	27	21	Cobertura de esquistos	3100
	237 - 247	11	18	237 - 247	27	22	Cobertura de esquistos	1250
			247 - 250	15	5.87			
G - G	162 - 175	22	32	162 - 175	22	32	Corte sobre el talud	4000
	175 - 195	20	51	175 - 195	20	51	Cobertura de esquistos	4200
	195 - 215	20	65	195 - 215	20	65		
	215 - 225	20	25	215 - 225	20	25	Cobertura de esquistos	1500
	225 - 237	22	25	225 - 237	29	23	Cobertura de esquistos	300
	237 - 242	17	16	237 - 242	28	9	Cobertura de esquistos	3200
				242 - 247	22	10	Cobertura de esquistos	1500
			247 - 250	14	17	Cobertura de esquistos	800	

Cortes	Pendiente inicial			Pendiente final			Operación	Volumen
	Z	α	Largo	Z	α	Largo		
G' - G'	175 - 206	17	100	175 - 206	17	100	Corte sobre el talud	1300
	206 - 225	16	49	206 - 225	16	49		
	225 - 237	13	29	225 - 237	32	22	Cobertura de esquistos	1600
	237 - 242	11	17	237 - 247	25	16	Cobertura de esquistos	6600
				247 - 251	15	17	Cobertura de esquistos	800
H - H	199 - 215	15	49	201 - 215	24	34	Cobertura en la arena y Cobertura de esquistos	1700 3200
	215 - 225	21	26	215 - 225	22	30		
	225 - 235	29	24	225 - 235	27	22		
	235 - 241	15	12	235 - 247	21	27	Corte y Cobertura de esquistos	200 1600
				247 - 251	8	21		
J - J	206 - 215	25	20	206 - 215	25	20	Cobertura en la arena	800 1000
	215 - 225	15	31	215 - 225	15	31		
	225 - 237	17	28	225 - 237	17	28	Corte en la arena	
	237 - 241	10	16	237 - 249	8	14	Cobertura de esquistos	1500
				249 - 251	15	8	Cobertura de esquistos	1600
K - K	206 - 215	16	31	206 - 215	16	31	Cobertura de esquistos	1100
	215 - 225	22	30	215 - 225	22	30		
	225 - 237	29	16	225 - 237	19	29	Cobertura de esquistos	1400
	237 - 241	10	29	237 - 247	28	16	Corte en la arena Cobertura de esquistos	400 550
				249 - 251	12	28		
L - L	215 - 227	14	53	215 - 227	14	53	Cobertura de esquistos	2500
	227 - 237	8	26	227 - 237	18	21		
	241 - 246	15	20	237 - 246	18	27	Corte en la arena	400
				246 - 249	15	19	Cobertura de esquistos	2200
				249 - 251	12	28	Cobertura de esquistos	1800

(Cuadro 10)

Cuadro de operación de movimientos de tierra del talud de L'Artus			
Corte en la arena m3	Corte en los esquistos m3	Aportes de esquistos m3	Total del proyecto
17400	0	47 700	65 100

Cuadro de operación de movimientos de tierra de las playas de L'Artus				
Corte en la arena m3	Corte en los esquistos m3	Aportes de esquistos m3	Aportes de Marno Calcarios	Total del proyecto
2300	400	25000	228000	255600

Volumen total para la rehabilitación = 320,000 m3

7.4. Principio de la obra para el proyecto de rehabilitación.

7.4.1.- Rehabilitación del talud a nivel 215 – 225 et 225 – 235

7.4.1.1. Descensos de agua y banquetas

La rehabilitación del talud esta comprendido entre las Bermas 225 –235 . Fue realizado mediante el método de corte y relleno

En el talud 215 – 225 fue necesario completar parte de los esquistos existentes para estabilizar las brechas producidas por el agua de discurrimento

La rehabilitación comprende el relleno de 4 mts de esquistos rgilosos compactado y el corte se realizo en las arenas

El proyecto tuvo en cuenta la pendiente que debe ser menos de 30° en las arenas y esquistos Los canales de descenso de agua en el talud son de pendientes longitudinales a 10% et 3% sobre las bermas.

La bermas son levantadas hasta 2.10mt y la cresta es desplazado hacia el interior.

Las otras zonas del talud fueron tratadas de la misma manera pero con dos variantes , las bermas fueron levantadas hasta 1,40mts con un empedrado de 40cm y la pendiente de descenso es de 3% dentro de un largo de 3 a 4 mts.

Para reducir las infiltraciones de agua será necesario de hacer un perfil de forma trapezoidal a una profundidad de aproximadamente 70 cm y será protegido por una geomenbrana.

7.4.1.2. Impermeabilización de los canales de descenso de agua

Para reducir las infiltraciones de agua será necesario de hacer un perfil de forma trapezoidal a una profundidad de aproximadamente 70 centímetros

Para realizar estos trabajos es necesario contar con equipos de alta productividad como utilizar una pala y dumpers, la pala para el corte y relleno , el dumpers para el traslado de materiales grueso(arenas,piedras)

La puesta en el sitio de la membrana se hará desde la parte baja hasta la parte alta pegada a la parte perfilada.

7.4.1.3. Cobertura de esquistos

La totalidad de arena será cubierta por los aportes de esquistos en un espesor de 40 a 50cm

7.4.2.- Construcción de las pista de drenaje

7.4.2.1. Esquema de base

El principio de base es un trabajo de 4 mts de profundidad de 6mts de abertura y 0.7 de profundidad. La fosa de colección es preservada pero el fondo es reperfilada con una geomenbrana y recubierta por un material grueso(empedrado) que no permite la infiltración de aguas de percolación muy contaminada.

7.4.2.2. las secciones a muy fuerte pendiente (> à 10%) y fuerte pendiente (de 4 à 10%)

En el momento que la roca aflora la pista drainante es. Interrumpido para hacer un canal en V.

Para una sección a muy fuerte pendiente se hará un canal de 5 m de canal y 1 m de profundidad y así mismo una cubeta de 5 mts de diámetro por cortar la energía adquirida por el agua en su descenso

Para la sección a fuerte pendiente se hará una pequeño canal de 3m² de abertura.

7.4.2.3. Descenso de agua sobre la membrana.

Técnicamente la caída es para hacer un trabajo como un material filtrante este chute es de forma trapezoidal de 5m de largo y 2 m de profundidad y el ancho de la geomembrana es recubierto de un material grueso de tamaño pequeño (200 – 500mm) sobre 1 m de espesor .

Dentro de la parte baja el enrocado debe pasar progresivamente de un 30% a una pendiente alrededor de 4%

7.4.2.4. Las pozas de control de agua de escorrentías

Hay dos pozas (Norte y Sur) en trozos de pistas que vierten , que colectan todas las aguas de escorrentías del deposito . Estas pozas permiten de hacer los controles de calidad de agua.

8. Realización del proyecto

8.1. Terraplén de los taludes

la mayor parte de trabajos de terraplén corresponde a los talud de la playa inferior.

El proyecto menciona en total 06 descensos de agua que vaciaran las aguas de escurrimiento dentro de las fosas de colección norte y sur que van de la cota 190 hasta la cota 235.

Las aguas de escurrimiento discurrirían por los taludes norte oeste y sur oeste de la playa superior estos serán colectados por las par les banquetas 240 norte y 230 sur.

Para ejecutar la cobertura de los esquistos sobre las arenas, el material será aportado de las canteras o de los cortes del deposito de agua de retorno que se encuentra en toda la superficie del talud con un espesor de 0.40m excepto en el talud 215 – 225 que solamente será completado en los cortes que se observan actualmente

8.2. Construcción de las pistas de drenaje norte y sur

La construcción de las pistas norte y sur será a partir de esquemas de base Ver el cuadro siguiente :

(Cuadro 11)

	Nivel (m)	Perfil de pista	Observación
Piste Nord	246 – 240	Esquema de base	Relleno
	240 - 222	Sección a fuerte pendiente (4 – 10%)	Fosa de colección a 235m
	222 – 214	Esquema de base	
	214 - 212	Fosa	La pista es rellenada y reemplaza por una fosa
	Nivel(m)	Perfil de Pista	Observación
Piste Sud	242 – 239	Esquema de base	Relleno
	239 - 217	Sección a fuerte pendiente pendiente 10%)	Corte
	217 – 213	Esquema de base	
	213 - 207	Chute de agua sobre la geomenbrana	
	207 – 190	Esquema de base	

8.3. Deposito de agua de percolación del deposito.

Las dos fosas de colección norte y sur son limpiados y reperfilados y ensanchados con una geomenbrana recubierta de los empedrados hasta el canal descendente sur del deposito de retorno .estas fosas serán las quecolecten todas las aguas de percolación proveniente del deposito de L'Arthus.

Los depósitos de control de las fosas norte y sur es un deposito de 600m³ de capacidad que permiten controlar la calidad de agua de escorrentia con el fin de verter dentro del deposito de retorno ó verter dentro del medio ambiente.

9. Cuantificación de trabajos

La cuantificación de trabajos de rehabilitación de la presa de relaves de L'Arhus es mencionado a detalle en el proyecto de presentado a la sociedad Mos de Salsigñe. Que representa a los 6 descensos de agua los movimientos de tierra en bermas, la cobertura de esquistos ,las pistas de drenajes ,las fosas de colección de agua de percolación los depósitos de control de aguas de escorrentía

9.1. Descensos de agua

(Cuadro 12)

	Longitud (m)	Empalmes de sistemas de drenajes	Cobertura de esquistos (m ²)	Superficie de geomembrana (m ²)	Volumen de empedrados (m ³)
Descensos de agua 1	270	1	2700	1600	140
Descensos de agua 2	450	2	4900	2700	230
Descensos de agua 3	150	3	400	1000	240
Descensos de agua 4	140	1	400	850	50
Descensos de agua 5	100	1	800	650	50
Descensos de agua 6	240	2	1500	1500	120
Total	1350	10	10700	8300	690

Superficie = (longitud x 1.15 x 5m) + (empalmes : 50cm).

9.2. Movimiento de tierra de bermas

(Cuadro 13)

	Volumen de corte (m ³)	Volumen de relleno (m ³)	Superficie de arena a compactar
Risberme 225	9300	8600	3400
Risberme 215 – 205	4000	3000	4300
Risberme 195	1300	1000	950
Banquetas 240S	300	400	500
Banquetas 240N	500	200	550
Banquetas 230N	300	250	350
Total	15700	13500	10000

9.3. Cobertura de esquistos

(Cuadro 14)

	Recubrimiento de superficie(m ²)	Volumen de esquistos(m ³)	Superficie a compactar (m ²)
Cobertura de esquistos	65000	26000	10000

El volumen fue calculado bajo la base de 40cm de espesor promedio

9.4. Pistas drenantes

(Cuadro 15)

Pista Norte	Longitud (m)	Aportes de esquistos (m ³)	Superficie a compactar (m.)	Corte ó roca (m ³)
246 - 240	180	3200	750	-
240 - 222	200	(1)	800	400(2)
222 - 214	250	2900	1000	-
214 - 212	100		-	100

Pista sur	Longitud (m)	Aporte de esquistos (m ³)	Superficie a compactar (m ²)	Corte en roca(m ³)	Corte en arena (m ³)
242 - 239	200	800	800	-	-
239 - 217	160	-	-	1000	-
217 - 213	120	2 000	500	-	-
213 - 207	30	-	-	-	-
207 - 190	300	2200	120	-	3 000

9.5. Depósitos de colección de agua de percolación

(Cuadro 16)

	Longitud de empalmes (m)	Superficie de geomenbrana (m ²)	Volumen de empedrado m ³	Corte m ³	Busage en 600 mm (m)
Fosa norte	430	1400	700	-	6
Fosa sur	580	1700	800	190	6

9.6. Estanque de control de agua de escorrentia

(Cuadro 17)

	Longitud de empalmes (m)	Volumen de corte m ³	Volumen de protección de empedrados m ³	Canal de evacuación (m)
Deposito Norte	120	600	<10	50
Deposito Sur	40	600	<10	200

- (1) La realización de la pista de esquistos se deberá hacer con una operación de corte y relleno con la pista existente
- (2) Los cortes en roca corresponden a el excavar el canal en V en la longitud de la pista drenante.

La tabla siguiente muestra en síntesis todos los trabajos de movimiento de tierras
(Cuadro 18)

Operación	Tiempo (meses)	Cantidad (m ³)	Inversión (Miles de Euros)
Corte y relleno sobre la arena	5	18000	250,000
Relleno de esquistos	3	37500	500,000
Rellenos esquistos compactados	2	11000	350,000
Instalación de geomenbrana	1	12500	350,000
Compactación (menos relleno de esquistos)	0.5	2600	200,000
Corte en roca	1	7000	200,000
Empedrados	0.5	2200	50,000
Enrocados	1	350	50,000
Movimiento de tierra en talud(aporte de esquistos)	2	28000	250,000
Movimiento de tierra en playas(Corte y aporte de marnos calcarios)	2	255600	350,000
Total	18		2'450,000 €

Inversión por la seguridad y medio ambiente.

Actividad	Tiempo (meses)	Inversión (miles de euros)
Adquisición de laboratorio	1	250,000
Cobertura de esquistos (contra el polvo))	1	626,000
Vegetalización en playas de L'Artus	3	135,000
Vigilancia de la escorrentía de agua de superficie y subterránea	Continua	1'350,000
Estudio de la calidad de agua	Continua	300,000
Rehabilitación del lugar	18	330000
Control geotécnico e hidrológico de las playas	12	150,000
Total		3'140,000 €

Nota : el costo total a invertir para la remediación y rehabilitación de la presa de relaves de Salsigñe es de 5' 600,000 Euros.

10. Hidrología del lugar después de la rehabilitación.

Los modelos determinativos toman en cuenta las características físicas de la lluvia y el deposito versant que juegan un papel determinantes dentro del proceso fisico y la formación de un río.

El calculo de caudal de formación de un río de deposito versante se realiza mediante un método racional de origen americano donde la ecuación est :

$$Q = 0,278 \times Cr \times l \times A$$

Esta formula fue utilizada anteriormente para el calculo de la lluvia de todo el deposito versant pero también se puede aplicar en obras de drenajes de agua de escorrentía.

(Cuadro 19)

	L (Km)	H(m)	S(km ²)	Tc (mn)	Q(m ³ /s)
Pista de drenaje norte	0,68	35	0,12	9	4
Pista de drenaje sur	0,70	60	0,13	8	4
Descensos de agua 1	0,37	31	0,02	6	1
Descensos de agua 2	0,54	40	0,02	7	1
Descensos de agua 3	0,25	22	0,01	6	<1
Descensos de agua 4	0,30	16	0,01	6	<1
Descensos de agua 5	0,20	13	0,01	6	<1
Descensos de agua 6	0,30	32	0,02	6	1

Método de calculo de caudales capas en trabajos de drenajes.

Para el dimensionamiento de trabajos de drenajes se utilizo la formula de Manning – Strickler

$$V = \frac{1}{n} (R^{2/3}) (I^{1/2})$$

Donde :

V = Velocidad promedio de agua dentro de la sección de un canal en m/s

n = Coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza de la pared.

R = radio hidráulico en(m)

I = pendiente longitudinal del canal en m / m

Método de calculo de caudal capaces en trabajos de drenajes

Por le dimensionnement de ouvrages drainants se utilise la formule de Manning – Strickler

$$V = \frac{1}{n} (R)^{2/3} (I)^{1/2} \dots\dots\dots(1)$$

donde :

V = Velocidad promedio de agua dentro de la sección de un canal en m/s

n = Coeficiente de rugosidad que depende de la naturaleza de la pared.

0,03  $\frac{1}{n} = \frac{33}{n}$

R = radio hidráulico en(m)

I = pendiente longitudinal del canal en m / m

Calculo de caudales de las playas y talud.

Método de calculo : para una sección triangular

$$\text{Calculo de superficie (S) : } S = \frac{b \times h}{2} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Calculo de perimetro mojado (P) : } \sqrt{L} = \frac{(b)^2 + (h)^2}{2} \dots\dots\dots(3)$$

donde L = lado y \Rightarrow P = 2L

$$\text{Calculo del radio hidráulico } (R) = \frac{S}{P} \dots\dots\dots(4)$$

Entonces en (1)

$$\text{El calculo de la velocidad est. } V = 33 \times (R)^{2/3} \times (I)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Calculo del caudal máximo : } Q = 2/3 (S) \times V \dots\dots\dots(6)$$

Método de calculo : para una sección trapezoidal

$$\text{Calculo de superficie (S) : } S = \frac{(B + b) \times h}{2} \dots\dots\dots(1)$$

donde B = base mayor b = base menor h = Altura

$$\text{calculo del perímetro mojado(P)} \sqrt{L} = \frac{(B - b)^2 + (h)^2}{2} \dots\dots\dots(3)$$

donde : L = lado y $\Rightarrow P = 2L + b$

$$\text{Calculo del radio hidráulico } (R) = \frac{S}{P} \dots\dots\dots(4)$$

Entonces en (1)

$$\text{El calculo de la velocidad es. } V = 33 \times (R)^{2/3} \times (I)^{1/2} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Calculo de caudal máximo : } Q = 2/3 (S) \times V \dots\dots\dots(6)$$

HIDROLOGIA DEL DEPOSITO DESPUES DE LA REHABILITACIÓN

(Cuadro 20)

Playa	Tipo de drenaje	Pendiente (%)	Abertura superior	Largo del fondo	Máxima Profundidad útil (m)	Superficie (m ²)	Perímetro mojado (m)	Radio hidráulico	Manning Scrticker(m)	Caudal máximo Q = $\frac{2}{3}(S) \times V$ (m/s)
Sección triangular	Descenso de agua	10.0	5.0	0.0	0.5	1.25	5.0	0.25	4.14	3.45
	Pistas drenantes	3.0	5.0	0.0	0.4	1.00	5.1	0.196	1.92	1.27
	Las bermas	3.0	5.0	0.0	0.5	1.25	5.0	0.25	2.27	1.89
Talud										
Sección triangular	Descensos de agua	10.0	2.7	0.0	0.5	0.68	2.88	0.23	3.91	1.77
		3.0	3.3	0.0	0.5	0.83	3.45	0.24	2.2	1.22
Talud										
Sección trapezoidal	Pistas drenantes	3.0	6.0	4.0	0.5	2.5	6.24	0.4	3.10	5.16
		3.0	4.2	2.5	0.4	1.34	4.38	0.31	2.61	2.10

Nota : los valores de caudal obtenidos muestra que las obras fueron mal dimensionados para el proyecto. Mica_ Environnement llamo sobre las playas las banquetas drenantes y sobre el talud risbermes pero ambos son lo misma cosa

Análisis de trabajos finales a realizar para una sección trapezoidal

Para que la velocidad del agua no sea superior a 1,00 m/s

Para esto el caudal no cambiara :

$$Q1 = S1 \times V1 \dots\dots\dots(1)$$

$$Q2 = S2 \times V2 \dots\dots\dots(2)$$

Por dato $Q 1 = Q2$

$$\text{Entonces } S1 \times V1 = S2 \times V2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Para una } V1 = 4\text{m/s } V2 = 1\text{m/s } \implies S2 = 3 S1 \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Para una } S1 = 2,5\text{m}^2 \implies S2 = 3 \times 2,5 = 7,50 \text{ m}^2 \dots\dots\dots(5)$$

Por los datos anteriormente obtenidos se determina que para una misma rugosidad es necesario aumentar la sección a 5,0 m²

Nosotros determinamos luego de los cálculos anteriores que los canales y bermas, definidos no son aconsejables par una lluvia milenal dentro de las condiciones recomendadas (V_{\max} 1m /s)

En función de esto nos proponemos aumentar de la sección de drenaje. Las nuevas secciones útiles calculadas mediante la ecuación de manning deben ser 7,50 m².

Esto representa un trapecio de 9.50m de base mayor y 5.50 de base menor y 1.00 m de altura .pero nosotros sabemos que la altura útil es 2/3 de la altura total, este será de 1.5m.

Análisis de trabajos finales para una sección triangular

Para una velocidad de agua no superior a 1,00 m/seg

Para esto el caudal no cambia :

$$Q1 = S1 \times V1 \dots\dots\dots(1)$$

$$Q2 = S2 \times V2 \dots\dots\dots(2)$$

Por datos $Q 1 = Q2$

$$\text{Entonces } S1 \times V1 = S2 \times V2 \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Para ulna } V1 = 4\text{m/s } V2 = 1\text{m/s } \implies S2 = 4 S1 \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Para una } S1 = 1,25 \text{ m}^2 \implies S2 = 4 \times 1,25 = 5,0 \text{ m}^2 \dots\dots\dots(5)$$

Por los calculo anteriores me vi obligado a aumentar la sección a 7.50m²

Los cálculos realizados muestran que se tendrá que realizar un canal de 10m

De largo por satisfacer el caudal y la velocidad a discurrir por el canal.

Pero esta afirmación por mas cierta que sea no podía ser realizado a causa de la topografía del lugar.

Para aceptar una velocidad superior sin fenómenos de erosión ,se determina aumentar la rugosidad del canal.

Yo propuse que los canales fueran tapizados de una cama de rocas del río Tamaño (120/150) que no permiten dentro de este caso aumentar la velocidad hasta 2m/seg. y dentro de este caso solo se hará alargar la sección prevista del canal de 2m para agregar a su dimensión actual.

11. Conclusión

Las conclusiones de nuestro estudio consisten esencialmente en revisar los principales parámetros de rehabilitación de la presa de relaves del lugar de L'Arthus perteneciente a la Sociedad Moss de minas de oro de Salsigne :

Los cálculos para una lluvia centenal y milenal muestran alturas considerables entre 197 a 280 mm en 24hrs, que es un factor importante para realizar la rehabilitación.

El calculo de estabilidad de la presa muestra un coeficiente de seguridad actual de 1.38 que es insuficiente por una estabilidad indefinida a un periodo largo (1,6) Se puede pensar que el aporte de relleno de esquistos sobre las brechas y arena mejoraran esta cifra. En verdad nosotros recomendamos realizar algunos ensayos de penetración para verificar la hipótesis establecidos.

El sistema de drenaje de aguas pluviales son dimensionados para reportar un evento climático de precipitación máxima probable centenal ó milenal (recomendación del comité internacional de grandes depósitos)

El proyecto realizado se propone aumentar la sección de los canales proyectados y tapizar los descensos de agua de grandes rocas y de piedras (por aumentar la rugosidad y bajar la velocidad del flujo de agua y de manera consecuente el volumen de agua que será almacenado dentro del deposito de colección)

La gestión del agua que se filtran en el dique es igualmente necesario vigilar los niveles de agua mediante los piezómetros(para evitar un aumento del nivel freático) y la calidad de la misma para el tiempo que dure la rehabilitación.

Nosotros pensamos igualmente que una revegetalización rápida de la zonas disturbadas limitara fuertemente los fenómenos de erosión

12. Bibliografía

Proyecto de remediación de la zona minera de Salsigne
(Mica environnement)

Proyecto de explotación de las playas del deposito (Antea)

Cálculos de precipitaciones aplicados a presas (documento de la Universidad d
Ales _ Francia por (M. GEOFRE)

Documento técnico de tratamiento de agua en la ciudad de Francia

Información General de la mina de oro de Salsigne

Estudio de factibilidad del proyecto de deposición de sulfuros primarios e
Cerro Verde