

**XXXIII REUNION ANUAL ASOCIACION ARGENTINA DE TECNOLOGIA
NUCLEAR
21-23 DE NOVIEMBRE DE 2006
BUENOS AIRES - ARGENTINA**

**ORGANISMO: COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
SECTOR: PROYECTO DE RESTITUCION AMBIENTAL DE LA MINERIA
DEL URANIO (PRAMU)
TITULO DEL TRABAJO: GESTION DE AGUA DE CANTERA Y RESIDUOS
SÓLIDOS (RS) DEL COMPLEJO MINERO FABRIL SAN RAFAEL.
AUTORES: Asenjo Armando Raul (asenjoa@cnea.gov.ar)
Juan F. Perrino: (perrinoj@cnea.gov.ar)**

**XXXIII REUNION ANUAL ASOCIACION ARGENTINA DE TECNOLOGIA
NUCLEAR
21-23 DE NOVIEMBRE DE 2006
BUENOS AIRES - ARGENTINA**

**ORGANISMO: COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
SECTOR: PROYECTO DE RESTITUCION AMBIENTAL DE LA MINERIA DEL
URANIO (PRAMU)
TITULO DEL TRABAJO: GESTION DE AGUA DE CANTERA Y RESIDUOS
SÓLIDOS (RS) DEL COMPLEJO MINERO FABRIL SAN RAFAEL.
AUTORES: Asenjo Armando Raul (asenjoa@cnea.gov.ar)
Juan F. Perrino (perrinoj@cnea.gov.ar)**

Resumen

El Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) se encuentra ubicado en la Provincia de Mendoza, Departamento de San Rafael a 38 Km. al oeste de la ciudad de San Rafael y a 240 km al sur de la ciudad de Mendoza, capital de la provincia. En el mismo se produjo concentrado de uranio durante el período 1979-1999. A partir de 1995 se detuvo la explotación minera, encontrándose en la actualidad sus instalaciones en stand-by. A partir del año 1999 se comenzaron a realizar estudios técnicos, económicos y ambientales orientados a reiniciar las actividades productivas. Por tal motivo, como parte inicial del proyecto, se definió la necesidad de comenzar la gestión de los residuos que quedaron acumulados en la etapa operativa, que son: a) colas de mineral, b) lodos precipitados, c) minerales marginales, d) escombreras de roca estéril, e) agua de cantera, f) residuos sólidos (RS). En este trabajo, en particular, se describirá la metodología de tratamiento de los dos últimos mencionados.

a) Agua de cantera: en la actualidad, la cantidad de agua acumulada en las distintas canteras del CMFSR es de 800.000 m³, y proviene del agua de lluvia y agua subterránea que ingresa a las zonas donde se llevan a cabo las explotaciones mineras.

El agua de cantera presenta contenidos de uranio, radio y arsénico superiores a los del background de la zona, debido al contacto del agua con la roca mineralizada. Con el objeto de gestionar el agua de cantera, cumpliendo con los requisitos regulatorios vigentes, se han llevado a cabo estudios de tratamiento para proceder a la descontaminación de la misma.

Se hicieron estudios utilizando resinas de intercambio iónico aniónicas (Amberlite IR 400) para captación de uranio y también se realizaron ensayos para disminuir la concentración de arsénico y radio-226 en agua de la cantera, por precipitación fraccionada utilizando sulfato férrico, cal y cloruro de bario.

b) Residuos sólidos (RS): estos residuos provienen de la neutralización de efluentes del proceso de purificación nuclear que se realiza en la planta de producción de dióxido de uranio (Córdoba). Existen 5.223 tambores conteniendo precipitados húmedos. El total de uranio en los tambores es 14.249 kg, con un tenor medio de uranio de 1,33%. El objetivo del tratamiento es gestionar estos precipitados y recuperar el uranio contenido en los mismos.

1-ANTECEDENTES

El Complejo Minero Fabril San Rafael (CMFSR) se encuentra ubicado en la Provincia de Mendoza, Departamento de San Rafael, Distrito Cuadro Benegas, a 11 Km al sud-oeste de la Villa 25 de Mayo, a 38 Km al oeste de la ciudad de San Rafael y a 240 km al sur de la ciudad de Mendoza. En Anexo 1 se muestra la localización del CMFSR.

En el año 1976 se iniciaron las actividades de explotación minera. Inicialmente se explotaron algunos cuerpos satélites como Tigre III y Gaucho I-II, y a partir de 1982 toda la actividad de explotación se concentró en el cuerpo principal “Tigre I – La Terraza”.

La planta de tratamiento y concentración entró en operación en setiembre de 1979 con una capacidad nominal de 51 tU/a. En el año 1987 se realizaron modificaciones para llevar su capacidad nominal a 120 tU/a. La producción total del CMFSR es 1012 t U.

El CMFSR se encuentra detenido desde el año 1995. La gran oferta de uranio en el mercado internacional a bajos precios, llevó a tomar la decisión de adquirir uranio en el mercado internacional, dejando las instalaciones del Complejo en stand-by.

Desde el año 1999 se vienen realizando estudios técnicos, económicos y ambientales orientados a proceder al reinicio de las actividades productivas a valores competitivos. Esta situación actualmente está favorecida por el importante incremento del precio del uranio en el mercado internacional. Como parte inicial del proyecto de reactivación, se definió la necesidad de comenzar la gestión de los residuos que quedaron acumulados en la etapa operativa.

2- TRATAMIENTO DE AGUA DE CANTERA DEL CMFSR

En la actualidad, la cantidad de agua acumulada en las distintas canteras del CMFSR es de aproximadamente 800.000 m³, y proviene del agua de lluvia y agua subterránea que ingresa a las zonas donde se llevan a cabo las explotaciones mineras. El plan de gestión de pasivos del Complejo, contempla la gestión del agua de cantera en forma prioritaria. Esta situación ha llevado a la CNEA a evaluar alternativas de gestión, respetando las legislaciones ambientales vigentes.

Composición química del agua de cantera

Se informa a continuación la concentración de iones presentes en el agua de cantera.

Elemento	Agua Cantera Tigre III
U (µg/l)	2980
Ra-226 (pCi/l)	10
As (µg/l)	48
K (mg/l)	5,8
Hg (µg/l)	0,2
Ba (µg/l)	38
Ca (mg/l)	47
Mg (mg/l)	8,4
Na (mg/l)	220
SO ₄ ⁼ (mg/l)	344
Cl ⁻ (mg/l)	98
CO ₃ ⁼ (mg/l)	5
CO ₃ H ⁻ (mg/l)	166
NO ₃ ⁻ (mg/l)	< 1

pH	8,2
Cond.($\mu\text{S/cm}$)	1288
TDS (mg/l)	776
Dureza total (mg/l)	152

El agua de las canteras Tigre I – La Terraza tiene características químicas similares a la de la cantera Tigre III. El agua de cantera presenta contenidos de uranio y radio superiores a los permisibles para vertido. El contenido de arsénico en la muestra analizada está por debajo del límite permitido para vertido, no obstante en algunas muestras tomadas en la cantera La Terraza, su concentración supera el citado límite, con valores de 167 $\mu\text{g/l}$. El contenido de otros iones, es del orden de los valores naturales de agua de la zona. Se asume que el tratamiento de agua de cantera debe contemplar la eliminación de uranio, radio y arsénico.

Regulaciones

La Resolución N° 778/96 y modificatorias N° 627/00 y N° 647/00 del Departamento General de Irrigación, regula todas las actividades que puedan afectar la calidad del agua superficial y subterránea en el territorio de la provincia de Mendoza. Es un reglamento general para el control de la contaminación hídrica, y presenta las normas para el vertido de líquidos a cuerpos receptores, y en el artículo 14 los requerimientos para el vertido a reservorios naturales o artificiales de evaporación y/o infiltración. Para el caso del vertido a reservorios naturales o artificiales de evaporación y/o infiltración, o disposición de efluentes en campos de derrame, el artículo 14 indica los requerimientos y estudios necesarios para la autorización de dichas prácticas, con el fin de demostrar que las operaciones que se propone realizar, no afectarán la calidad del agua freática.. Con respecto a las regulaciones específicas relacionadas con los aspectos radiológicos, la ley 24.804 – Ley Nacional de la Actividad Nuclear- determina que la CNEA tendrá a su cargo ejercer la responsabilidad de la gestión de los residuos radiactivos.

Requerimientos para vertido en cuerpos receptores

Se informan a continuación los valores de concentración permitidos para vertido a cuerpos receptores, contemplados en la Resolución N° 778/96 del DGI y modificatorias N° 627/00 y N° 647/00.

Elemento	Valores máximos permitidos (1)
NO_3^- (mg/l)	45 ^(*)
NO_2^- (mg/l)	0,3
NH_4^+ (mg/l)	3
pH	6,5 – 8,5
$\text{SO}_4^{=}$ (mg/l)	250 – 600 ^(*)
Cl^- (mg/l)	300 – 500 ^(*)
S^- (mg/l)	< 1
Na (mg/l)	250
Mn (mg/l)	0,1
Cr^{+6} (mg/l)	0,05 – 0,1 ^(*)
Hg (mg/l)	< 0,001
As (mg/l)	0,05 – 0,1 ^(*)
Cd (mg/l)	0,01
B (mg/l)	0,5
Fe (mg/l)	3
Cu (mg/l)	0,5

Elemento	Valores máximos permitidos ⁽¹⁾
Ni (mg/l)	0,2
Co (mg/l)	0,05
Al (mg/l)	0,5
Pb (mg/l)	0,5
V (mg/l)	0,05
Se (mg/l)	0,02
Zn (mg/l)	2
Ra-226 (pCi/l)	5
U (µg/l)	100

(1) Se indican elementos químicos inorgánicos contemplados en las Resoluciones N° 627/00 y N° 647/00.

(*) Valor máximo tolerable

Estudios realizados

De acuerdo a lo manifestado anteriormente el agua de cantera presenta contenidos de uranio, radio y arsénico superiores a los permitidos por las regulaciones para efectuar un vertido. El contenido de otros cationes y aniones está por debajo de los valores permitidos para vertido de acuerdo a los requerimientos de la Resolución 778/96 y modificatorias del DGI. Por lo tanto, el tratamiento de agua de cantera debe contemplar la reducción del contenido de los 3 iones mencionados. En la metodología estudiada el uranio es recuperado utilizando resinas de intercambio iónico aniónicas y el radio y arsénico son eliminados por precipitación utilizando cloruro de bario y sulfato férrico respectivamente.

Utilización de resinas de intercambio iónico

Estudios de laboratorio: En el año 1997 se llevaron a cabo estudios de laboratorio utilizando resinas de intercambio iónico aniónicas (Amberlite IR 400) para captación de uranio. Se utilizaron columnas de laboratorio de 30 cm de altura y 8 cm de diámetro. Las pruebas se llevaron a cabo en régimen continuo, con 3 columnas operando en serie, conteniendo 0,5 litros de resina aniónica (Amberlite IR 400) cada una. El caudal de trabajo fue de 4,5 l/h, y se tomaron muestras a la salida de cada una de las 3 columnas de la serie, para conocer la evolución de la concentración de uranio. La concentración de uranio promedio en el líquido que se trató fue de 3380 µg/l. Los estudios demostraron la viabilidad de utilización de este método.

Estudios a escala piloto industrial: En el año 1998, en base a los resultados de los estudios de laboratorio, se planificó un estudio de tratamiento de líquido a escala piloto-industrial. Se trabajó durante aproximadamente 7 meses y se procesaron 110.000 m³ de líquido. Para este estudio se utilizó el equipamiento de la planta industrial de producción de concentrado de uranio, principalmente los equipos de filtración, columnas de intercambio iónico, bombas y tanques intermediarios para preparación de reactivos químicos.

El estudio consistió en hacer pasar los líquidos a tratar por una serie de dos columnas de intercambio iónico conteniendo resina aniónica Amberlite IR 400 (3,5 m³ cada columna) para retener el uranio. Se realizó un muestreo del líquido de entrada y salida del circuito. Se tomaron muestras instantáneas y muestras integradas. El resultado promedio del muestreo integrado se informa a continuación:

Entrada al circuito	Salida del circuito
U (µg/l)	U (µg/l)
3245	24

El contenido promedio de uranio obtenido en líquidos a la salida del circuito se encuentra por debajo de los valores permitidos para vertido (Resolución 778/96 y modificatorias del DGI).

Estudios de laboratorio para precipitación de arsénico y radio

El agua de cantera tratada primeramente por resinas de intercambio iónico aniónicas, fue sometida a procesos de precipitación para eliminación de arsénico y radio. La precipitación de As fue llevada a cabo en una primera etapa, utilizando $(\text{SO}_4)_3\text{Fe}_2$ en dosis de 80 mg/l. El agregado del sulfato férrico produce una disminución del pH del agua desde 8,2 a 6,5. Luego de esta etapa, se agrega cal (para ajustar el pH) en dosis de 58 mg/l y Cl_2Ba en dosis de 10 mg/l, para precipitar el radio. Los resultados obtenidos fueron:

Parámetro	Agua de cantera sin tratar	Agua de cantera tratada
Ra-226 (pCi/l)	10	0,2
As (µg/l)	48	1,7

Tratamiento industrial

En Anexo 2 se muestra el esquema del proceso a llevar a cabo para tratar el agua de cantera. Se proyecta construir una instalación con una capacidad de tratamiento de 40 m³/h (200.000 m³/a), compuesta por 4 columnas conteniendo resinas de intercambio iónico aniónicas, para captación y recuperación del uranio, y una serie de dos tanques agitados para precipitación de arsénico y radio. El líquido tratado, previo análisis químico, será enviado a un campo de vertido de aproximadamente 20 ha, ubicado dentro del predio de CNEA. La ubicación del mismo se muestra en Anexo 3 y se indica como: área de gestión de agua de cantera.

Se dispondrá de 5 diques impermeables en el área indicada como DN5 (Anexo 4), para recepcionar agua tratada y precipitados. Estos diques funcionarán en forma intermitente una semana cada uno. Los precipitados serán trasvasados periódicamente al dique impermeable denominado DN8-DN9 indicado con color amarillo en Anexo 4. Este dique almacenará también líquidos y precipitados provenientes de otras operaciones de gestión de pasivos (tratamiento de residuos sólidos RS).

Composición química del agua de cantera tratada.

Se informa a continuación valores de composición del agua de cantera tratada que se obtendrían a escala industrial, para los iones cuya eliminación se ha considerado prioritaria.

Elemento	Agua de cantera sin tratar	Agua de cantera tratada	Limites ⁽²⁾
U (µg/l)	3000–4000 ⁽¹⁾	< 50	100
Ra-226 (pCi/l)	10 – 15 ⁽¹⁾	< 1	5
As (µg/l)	40-167 ⁽¹⁾	< 10	50

⁽²⁾ Resolución 778/96 y modificatorias del DGI

Gestión de los líquidos tratados

Para realizar la gestión del agua de cantera tratada, se plantea el vertido a un campo natural de vertido para su infiltración, dentro del predio de la CNEA. Este tipo de acciones están previstas en el artículo 14 de la Resolución 778 del DGI.

El agua de cantera tratada, se vertirá en un área de aproximadamente 20 ha, ubicada al noreste del área actual de acumulación de colas (Anexo 3), para proceder a su infiltración en el terreno. Se llevó a cabo un relevamiento topográfico de detalle de la misma, estudios geológicos y estudios hidroquímicos del agua subterránea de la zona. Se prevé el uso de aspersores de agua, trabajando en forma sectorial y alternada en distintas partes del área, para evitar el escurrimiento superficial y favorecer la infiltración.

2- TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS (RS)

Origen de los residuos sólidos (RS)

Estos residuos provienen de la neutralización de efluentes del proceso de purificación nuclear que se realiza en la planta de producción de dióxido de uranio Dioxitek-Córdoba (Anexo 5). En esta planta el concentrado de uranio es disuelto primeramente en ácido nítrico, y luego las soluciones son filtradas y sometidas a un proceso de purificación nuclear utilizando extracción líquido-líquido con un disolvente orgánico denominado TBP (tributil fosfato), que fija el uranio. Las soluciones ácidas estériles del proceso de extracción líquido-líquido, que contienen las impurezas del concentrado y pequeñas cantidades de uranio, son sometidas a un proceso de neutralización utilizando amoníaco gaseoso. Este proceso genera un efluente líquido neutro y precipitados (residuos sólidos (RS)) que luego de filtrados, son almacenados en tambores de 200 litros, y trasladados a San Rafael para ser acumulados transitoriamente en trincheras cavadas en las colas de mineral.

Existen 5.223 tambores de RS en el CMFSR, conteniendo 1.067.604 kg de precipitados húmedos. El total de uranio en los tambores es 14.249 kg, con un tenor medio de uranio de 1,33%. El objetivo del tratamiento es gestionar estos residuos y recuperar el contenido de uranio de los precipitados.

Composición química de los residuos sólidos (RS)

Se informa a continuación la composición química de los residuos sólidos (RS), indicando el rango de variación de la concentración de iones. Se puede observar que el rango de variación en algunos es grande; esto se debe a que los concentrados tratados tienen composiciones diferentes debido a sus distintos orígenes. Los datos corresponden a muestreos integrados de varios lotes de tambores recibidos en el CMFSR. En el caso del uranio, predominan los tambores con concentraciones comprendidas entre 0,9 y 1,5%. La humedad del material varía entre 40 y 70 %.

Ion	Concentración (en base seca)
U (%)	0,9 – 8
Ra (pCi/g)	40-90
Fe (%)	2 – 4
SO ₄ ⁼ (%)	0,2 – 0,5
Cr (%)	< 0,1
CO ₃ ⁼ (%)	0,5
NO ₃ ⁻ (%)	4 – 9
P (%)	0,5 – 2

Estudios realizados

La metodología de tratamiento de los residuos sólidos (RS) ha sido desarrollada por personal de la División Planta de Concentración del CMFSR, habiéndose llevado a cabo estudios de laboratorio y experiencias a escala piloto - industrial.

El proceso de tratamiento estará compuesto por las siguientes etapas:

- a) Lavado con agua de los residuos sólidos (RS) para eliminar nitrato soluble.
- b) Disolución del residuo sólido (RS) con ácido sulfúrico hasta pH 0,5.
- c) Decantación para eliminar impurezas y restos de orgánico.
- d) Dilución hasta pH 1,3.
- e) Recuperación del uranio disuelto por resinas de intercambio iónico
- f) Neutralización con cal de efluentes ácidos de proceso.
- g) Acumulación de precipitados en diques y evaporación natural de soluciones neutras.

Luego de haber realizado varias experiencias a escala de laboratorio para definir las condiciones de operación, se llevó a cabo una experiencia de lavado y disolución a escala industrial en la que se procesaron aproximadamente 12.000 kg de residuos sólidos (RS).

A partir del líquido de disolución obtenido, el que fue decantado y diluido para ajustar pH, se llevó a cabo una experiencia piloto de fijación en columnas de resina de intercambio iónico a escala industrial, y neutralización de los efluentes ácidos de proceso hasta pH 7, obteniendo de esta forma muestras de efluente líquido y precipitado, para análisis químico, los que dieron los siguientes resultados:

Analito	Concentración Líquido	Concentración Precipitado seco
U	< 1000 µg/l (1)	234 µg/g
Ra-226	1,14 pCi/l (2)	3,3 pCi/g
Al	< 1 mg/l	2200 µg/g
Zn	< 0,1 mg/l	230 µg/g
Cu	< 0,1 mg/l	27 µg/g
Cr	< 0,1 mg/l	90 µg/g
Mn	3,8 mg/l	1300 µg/g
Ni	< 0,1 mg/l	< 10 µg/g
Pb	< 1 mg/l	< 20 µg/g
Hg	0,2 µg/l	< 0,1 µg/g
As	1,0 µg/l	15 µg/g
NO ₃ ⁻	103 mg/l	< 10 µg/g
Ca	800 mg/l	24,3 g/100g
Fe	< 0,5 mg/l	2,25 g/100 g
SO ₄ ⁼	2060 mg/l	45 g/100g
Dureza	2480 mg/l	-
Cond.	3380 µS/cm	-
pH	7,9	-

Descripción del proceso de tratamiento a escala industrial

En Anexo 6 se muestra un esquema del proceso a utilizar. Se procederá a la extracción de los tambores

de la escombrera retirando el material sólido (colas de mineral) que está tapando los tambores, utilizando topadora y pala mecánica. El espesor de la capa de tapado es variable entre 3 y 15 m. Luego de eliminado por medios mecánicos (espátula o cepillo) el material sólido que pueda estar adherido a los tambores, los mismos serán montados sobre tarimas de madera, subidos a un camión con un autoelevador y trasladados hasta la planta de tratamiento.

Para proceder a la carga del residuo sólido (RS) en el tanque de disolución, los tambores serán subidos por medio de un elevador hasta una plataforma ubicada a nivel de la parte superior del tanque de lavado y disolución, y conducidos hacia la zona de carga por medio de un sistema de rodillos. El tambor será alojado luego en un soporte adecuado, elevado y volcado en el tanque, disponiéndose de un sistema de chorro de agua dirigido al interior del tambor, para asegurar la evacuación total del contenido del tambor.

Una vez en el tanque, los residuos sólidos (RS) serán primeramente lavados con agua para extraer el nitrato soluble. Una vez finalizada la etapa de lavado, se adicionará ácido sulfúrico hasta pH 0,5 para proceder a la disolución de los residuos sólidos (RS). Luego, la disolución será trasvasada a 3 tanques de decantación para separar impurezas. La disolución limpia será diluida con agua en una cisterna para obtener un líquido de pH 1,3.

La recuperación del uranio disuelto se llevará a cabo por medio del siguiente proceso: a) fijación en resinas de intercambio ionico, b) elución de las resinas, c) precipitación, d) secado y envasado del concentrado de uranio.

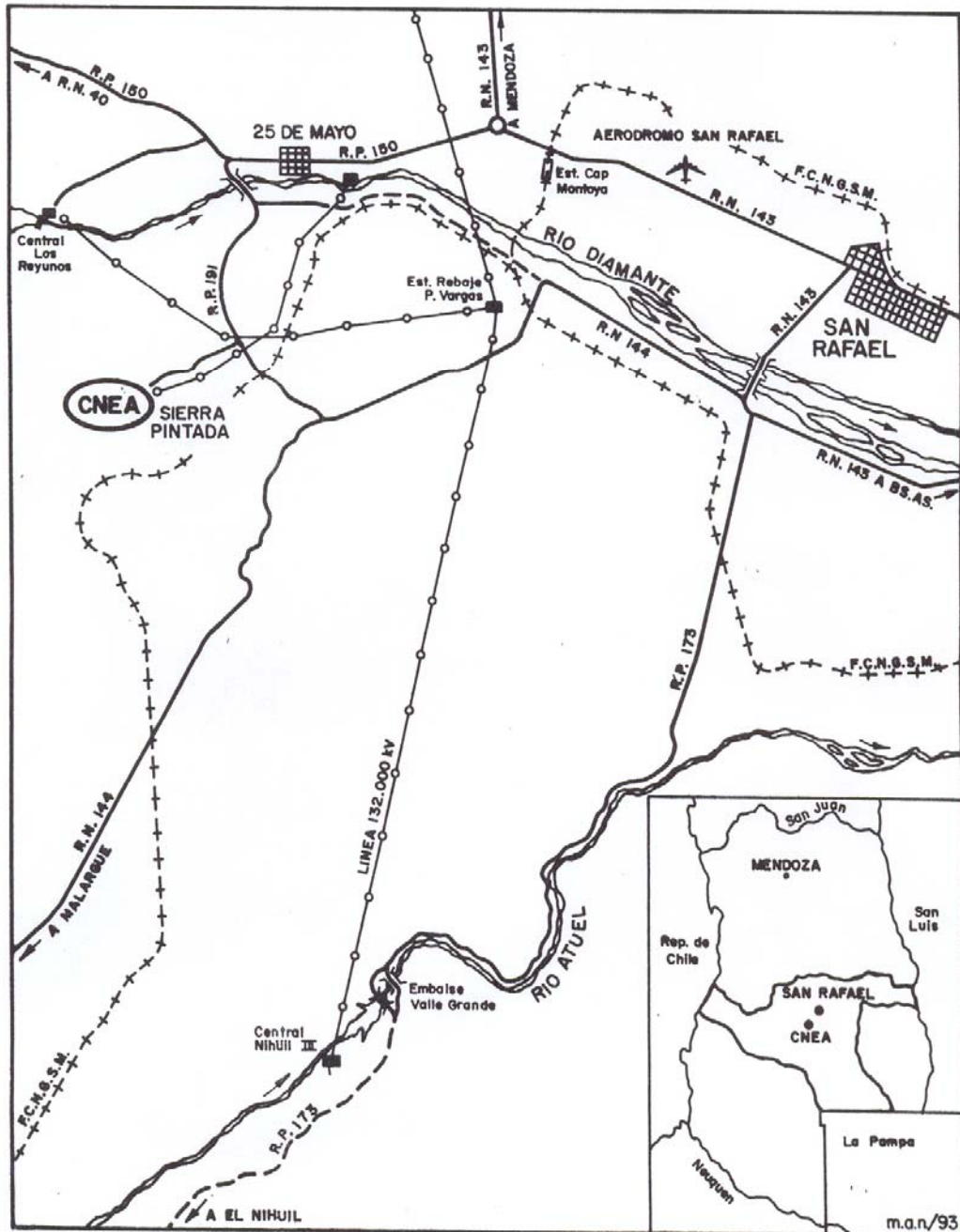
Los efluentes líquidos provenientes del proceso de fijación en resinas de intercambio ionico, serán enviados a una planta de neutralización. donde se adicionará cal para llevar el pH a 7. Luego de esta etapa los efluentes serán enviados al dique DN8-DN9 (Anexo 4), donde se producirá la separación de los precipitados de los líquidos neutralizados, por decantación natural.

Los precipitados serán acumulados en este dique que será impermeable, y los líquidos neutralizados serán gestionados por evaporación natural dentro de la misma área. Se prevé que la gestión de los residuos sólidos (RS) genere un total de 130.000 m³ de efluentes líquidos y 9000 m³ de precipitados húmedos (1300 m³ de precipitado seco). La gestión de los tambores se llevará a cabo en dos años, generándose 65.000 m³ por año de efluentes.

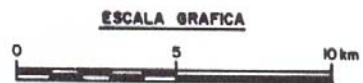
REFERENCIAS

- (1) INF-UEP-033/04 – A. Asenjo – J. Perrino - Tratamiento de agua de cantera.
- (2) INF-UEP-034/04- A.Asenjo-J.Perrino- Tratamiento de residuos solidos (RS)
- (3) Ensayos de precipitación de arsénico y radio 226, en aguas de la cantera Tigre III-Guido Tomellini-Mayo/04.

PLANO DE UBICACION



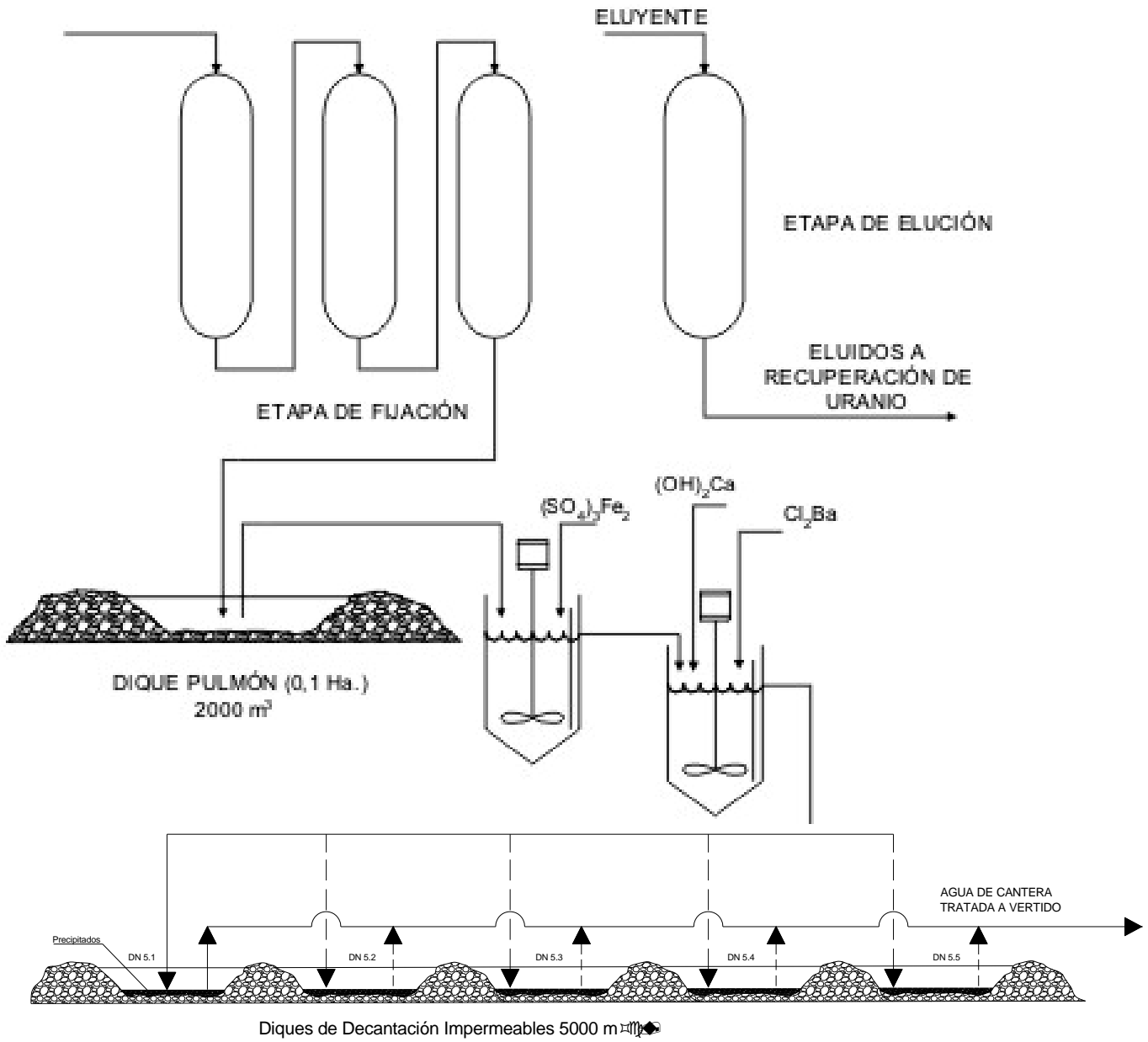
— Camino asfaltado
- - - Camino consolidado



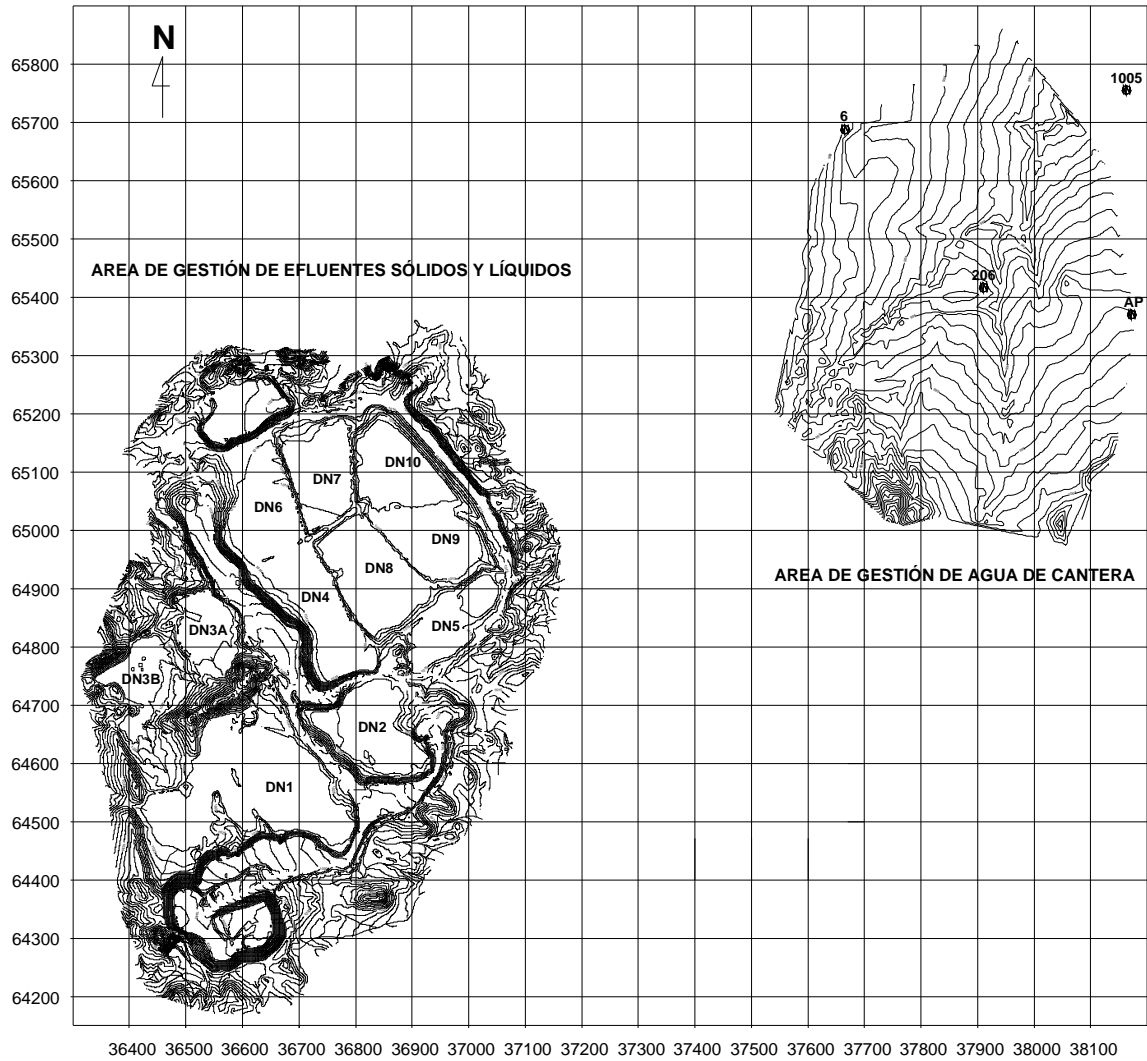
m.a.n./93

ESQUEMA DE TRATAMIENTO AGUA DE CANTERA

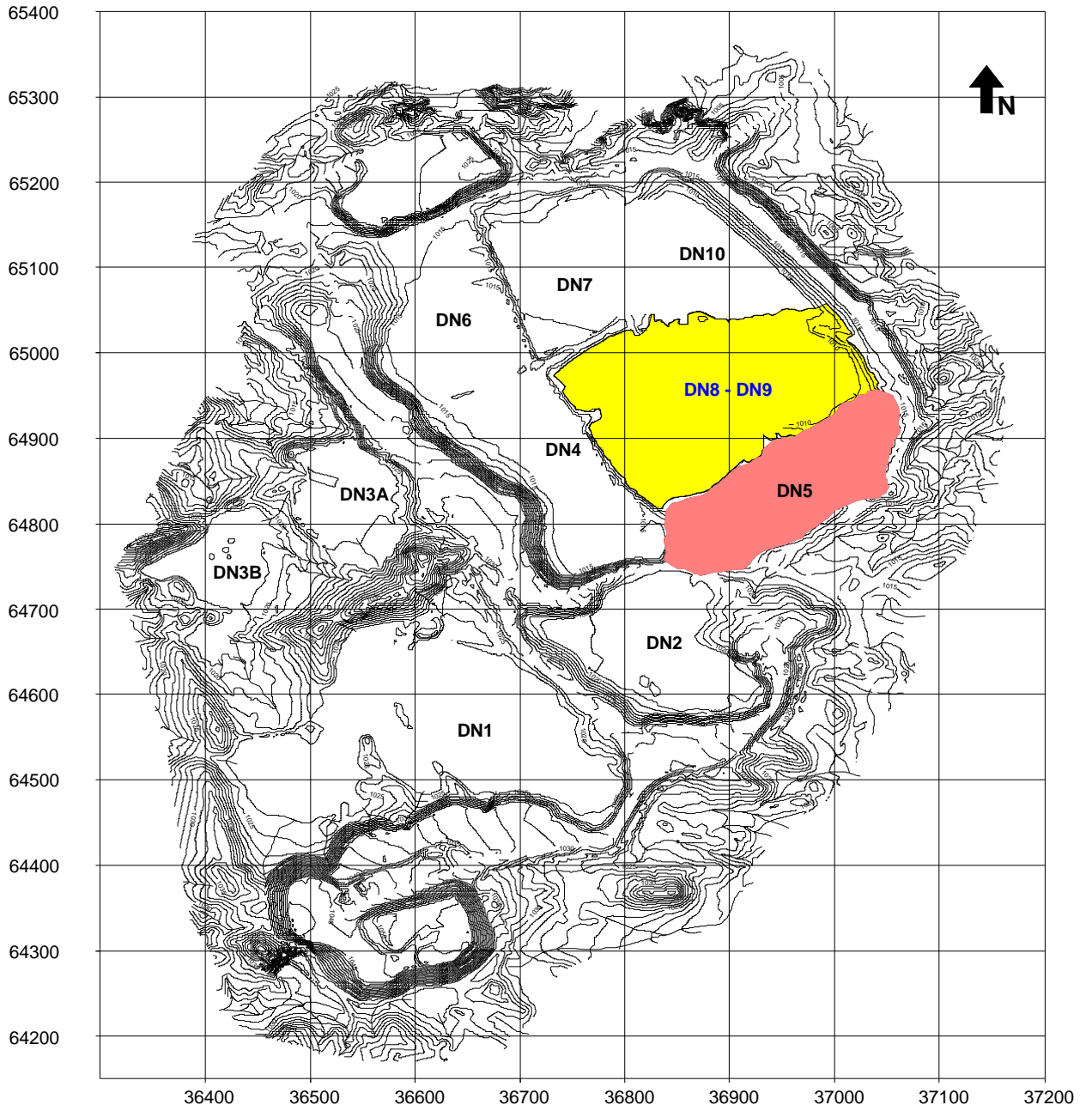
Anexo 2



PLANIMETRÍA GENERAL ÁREA DE DIQUES Y UBICACIÓN ÁREA DE VERTIDO
Anexo 3

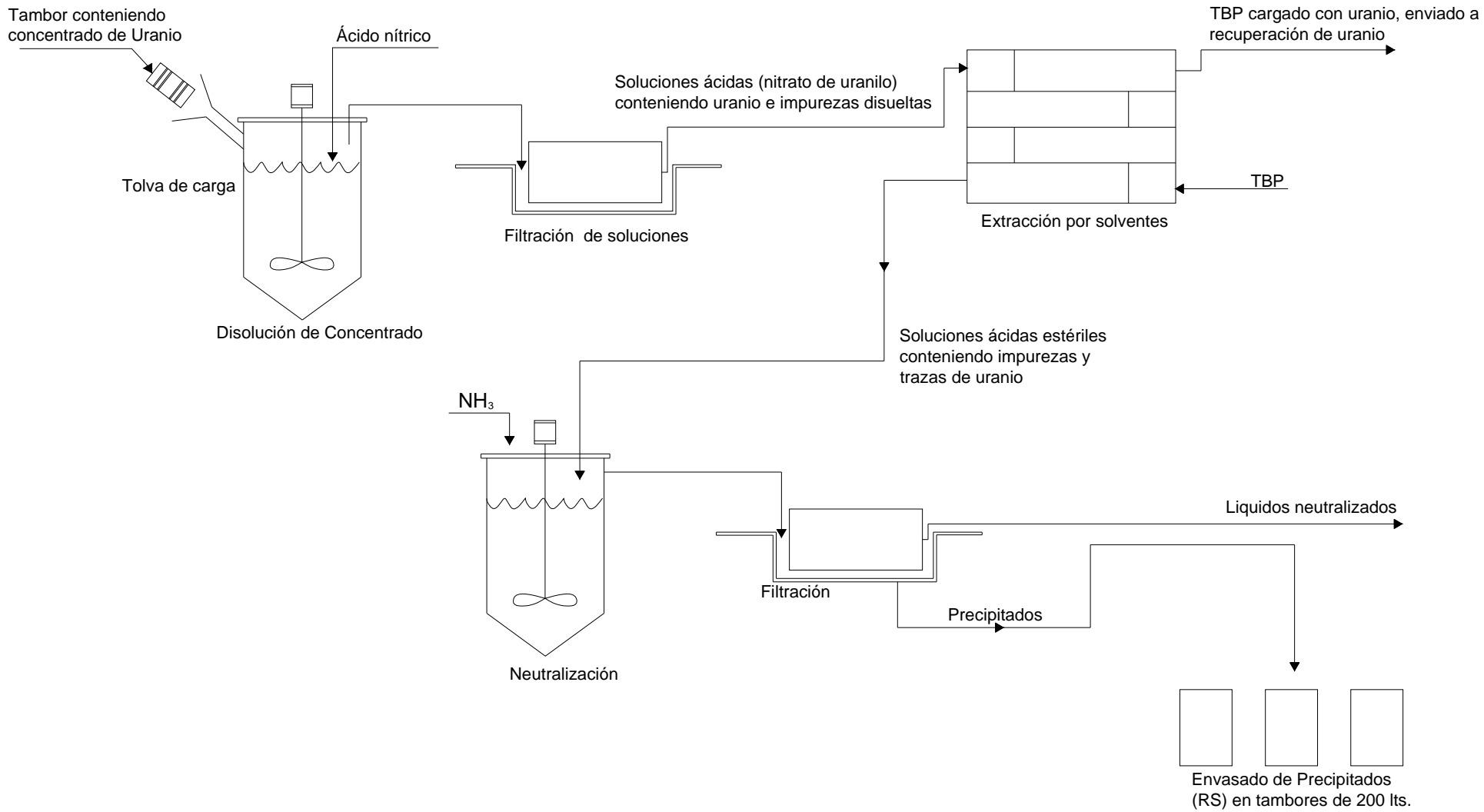


Planimetría General área de diques –Ubicación DN5- DN8-DN9



PROCESO DE PURIFICACIÓN NUCLEAR

Anexo 5



ESQUEMA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS (RS)

Anexo 6

