



INTI

Primera reunión nacional de consulta: Proyecto del Fondo para el Medio Ambiente (FMAM)

Convenio de Minamata, en el marco del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) sobre Mercurio en Argentina

“TECNOLOGÍA DE DISPOSICIÓN”

Disertante: Ing. Alejandra Benitez

Lic. Fabio Luna



Ministerio de
Industria
Presidencia de la Nación



CRBAS
Centro Regional Basilea
para América del Sur

Hoy en día se requieren acciones internacionales para mitigar los riesgos a la salud y al medio ambiente que puede ocasionar una mala o falta de disposición final de **Residuos de Mercurio**, por ello:

“se acompaña a continuación de una propuesta integradora en el almacenamiento ambientalmente seguro de los residuos de mercurio”

Un almacenamiento permanente y seguro de residuos de mercurio se logrará con el confinamiento de los mismos mediante el empleo de un conjunto de:

barreras naturales y/o ingenieriles

Las mismas deben garantizar la estanqueidad de potenciales lixiviados y/o fugas de contaminantes a perpetuidad para evitar efectos negativos sobre el medio ambiente local y regional.

Según la aplicación de una u otra o combinación de las **barreras naturales y/o ingenieriles**, un almacenamiento o disposición final de residuos se puede clasificar en:

- **Almacenamiento controlado**
(combinación de barreras naturales e ingenieriles)
- **Almacenamiento en formaciones geológicamente estables**
(barreras naturales)

En el “**almacenamiento en formaciones geológicamente estables**”, los terrenos seleccionados deberán cumplir **condiciones muy estrictas y rigurosas** desde el punto de vista geológico (entre ellos análisis del riesgo sísmico, consideraciones y análisis neotectónico, detección de áreas volcánicas activas, mapeo de gradientes geotérmicos, estudios hidrogeológicos, predicciones de cambio climático, etc).

La determinación para decidir la eliminación en estas condiciones de los residuos, lleva de **estudios prolongados**, incluyendo pruebas de laboratorio, pozos exploratorios, la construcción y operación de laboratorios de investigación subterráneos, etc.



- I) **Minas de sal**: considerada impermeable a los líquidos y los gases y una barrera muy eficaz para el almacenamiento a largo plazo de residuos peligrosos. Sin embargo, es necesario un espesor mínimo de la capa de sal para asegurar una segura encapsulación. Pocos países tienen formaciones adecuadas. **ARGENTINA: NO**
- II) **Formaciones de arcilla**: también se las considera como muy buena barrera. Aunque no del todo impermeable, la migración de contaminantes se la considera extremadamente lenta. Muchos depósitos se pueden encontrar en todo el mundo. **ARGENTINA: SI**
- III) **Formaciones de roca dura (cristalinas)**: Aunque pueden estar fracturadas, pueden proporcionar suficiente seguridad a largo plazo si se combina con otras barreras. Este tipo puede encontrarse en muchas regiones en todo el mundo. **ARGENTINA: SI (caso: Gastre - CNEA)**

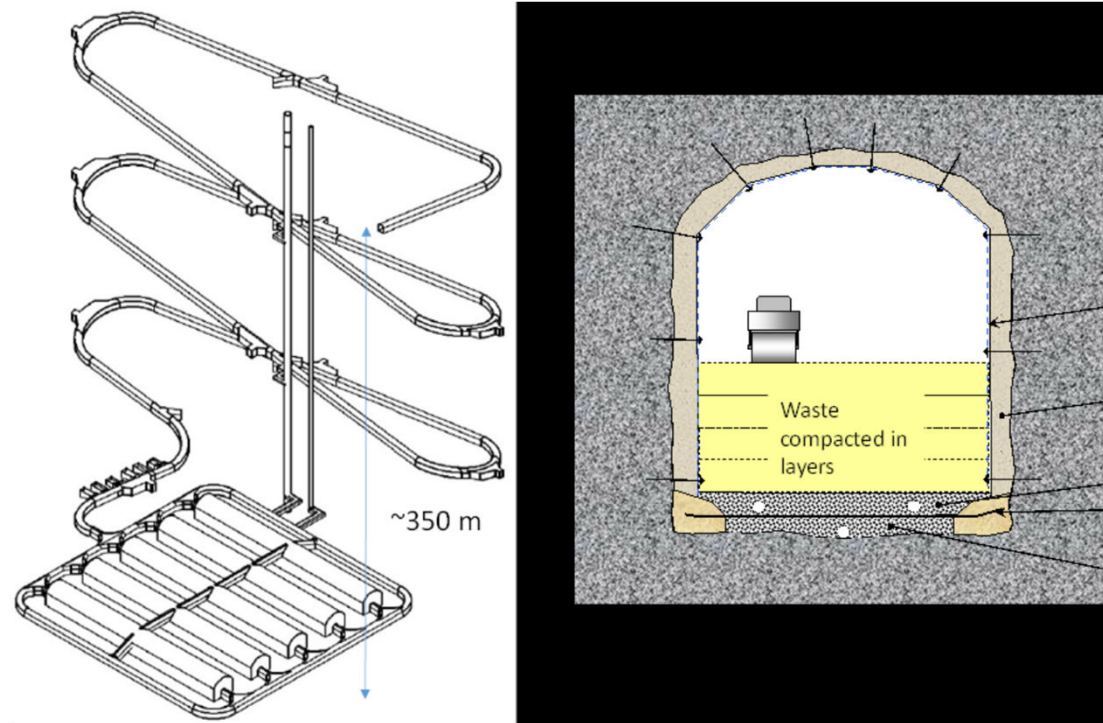
Fuente: Practical Sourcebook on Mercury Storage and Disposal Revised Draft (29.09.2014)

Almacenamiento permanente en minas de sal (Alemania)



Fuente: *Practical Sourcebook on Mercury Storage and Disposal Revised Draft (29.09.2014) - Courtesy: K+S Entsorgung GmbH*

Almacenamiento permanente en rocas cristalinas (Suecia)



Fuente: *Practical Sourcebook on Mercury Storage and Disposal Revised Draft (29.09.2014) - Courtesy: Boliden Mineral AB*

Almacenamiento permanente en Rellenos de Seguridad (Argentina)



Fuente: Disposición final en Rellenos de Seguridad - F. Bonato

El “**almacenamiento controlado**” tiene la ventaja de poder realizarse en cualquier tipo de terreno, siempre y cuando se cumplan ciertas condiciones mínimas (restricciones)

La **barrera ingenieril** (recinto INTI), constituye un recinto estanco de hormigón diseñado especialmente, en el cual los residuos previamente estabilizados / solidificados son dispuestos en su interior.

La **barrera geológica**, es decir el entorno geológico natural, que soporta o envuelve al recinto evitará o retrasará el pasaje de los lixiviados al entorno circundante en el caso que fallarán la barrera ingenieril.

Propuesta Recinto INTI (Argentina)



Fuente: INTI – Centro de Construcciones-Tecnología del Hormigón

TIPOS DE RESIDUOS A DISPONER

- **SI** - Residuos estabilizados / solidificados
- **SI** - Residuos sólidos contaminados con mercurio, cumpliendo con los criterios de aceptación nacional.
- **NO** - Residuos consistentes de mercurio elemental
- **NO** - Productos con mercurio añadido que pueden romperse y liberar mercurio líquido
- **NO** - Residuos líquidos contaminados con mercurio



**Propuesta: RESTRICCIONES Y CONDICIONES
MINIMAS PARA LA UBICACIÓN Y OPERACIÓN
SEGURA PARA UN ALMACENAMIENTO
PERMANENTE DE RESIDUOS DE MERCURIO**

En todos los casos deberán estudiarse con profundidad los siguientes aspectos:

- I. Las características geológicas, geofísicas, hidrológicas e hidrogeológicas del sitio;
- II. El tipo, cantidad y características de los residuos a confinar;
- III. La lixiviación potencial que puedan producir los residuos a confinar;
- IV. El potencial de migración de los contaminantes en el suelo, aire y agua, y;
- V. El impacto y la vulnerabilidad al entorno ambiental asociados a la actividad.



1) Restricciones para almacenamiento permanente

En todos los casos el sitio de disposición final de residuos de mercurio, deberá reunir las siguientes condiciones, no excluyentes de otras que la Autoridad de Aplicación Local y/o Nacional pudiera exigir:

2) Restricciones naturales locales y regionales

- El sitio no deberá ubicarse en zonas en que existan fallas geológicas activas, o que estén expuestas a deslizamientos o estén afectadas por actividad volcánica o afectada por cualquier otro riesgo geológico.
- El recinto deberá ser diseñado considerando las condiciones sísmicas de la zona donde será emplazado.
- El sitio debe poseer una pendiente que se encuentre entre el 1% y el 5 % con el fin de minimizar el escurrimiento superficial.
- No deberá ser construida en zonas sometidas a inundaciones que ocurran con períodos de retorno inferiores a 100 años.
- No deberán estar ubicadas en suelos inestables o de baja resistencia.



INTI



Ministerio de
Industria
Presidencia de la Nación

- **No deberá estar ubicados en sitios expuestos a subsidiencias o asentamientos debido a la existencia de minas subterráneas, extracción de agua, petróleo o gas, subsuelos expuestos a disolución, etc.**
- **No deberá ubicarse en suelos saturados, tales como riberas húmedas o el borde costero**
- **El nivel estático del acuífero freático debe encontrarse a una profundidad no menor de cinco metros (máxima estacional), respecto al nivel natural del terreno y la base del repositorio. Se deberá establecer el sentido de flujo del agua subterránea.**
- **No deberán estar ubicados en sitios que puedan afectar aguas superficiales y/o subterráneas destinadas al abastecimiento de agua potable, al riego o a la recreación.**
- **La dirección de los vientos predominantes debe ser contraria a las zonas pobladas.**
- **Estar ubicado como mínimo a: 500 metros del curso-cuerpo de agua más cercano (ambientes lénticos y lóticos, cuerpos permanentes - transitorios), a 500 metros de cualquier pozo de toma de agua ya sea público o privado, a 100 metros de la ruta (pública: nacional o provincial) más cercana (distancias referidas desde el área útil de tratamiento).**



INTI

3) Restricciones socioeconómicas locales y regionales

- **El sitio de disposición final de residuos de mercurio deberá tener acceso restringido. Deberá, además, contar con una barrera sólida de al menos 1,80 metros que impida el libre acceso de personas ajenas a ella y de animales.**
- **No estar en zonas protegidas desde el punto de vista del patrimonio natural o cultural.**
- **Deberá estar alejado de actividades tales como almacenes de productos inflamables o explosivos u otros que puedan potenciar las consecuencias frente a la ocurrencia de accidentes o emergencias.**
- **Deberá estar fuera del perímetro de restricción fijado para puertos, aeropuertos, instalaciones de manejo de explosivos, centrales nucleares y de instalaciones militares.**
- **La distancia mínima del repositorio a la periferia de los centros urbanos será no menor a 5 Km.**



INTI



Ministerio de
Industria
Presidencia de la Nación

4) Condiciones particulares

- **El sitio deberá contar con el EslA aprobado por la autoridad de aplicación antes de su puesta en funcionamiento.**
- **Se deberá elaborar un Plan de monitoreo ambiental para controlar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales, y la atmósfera durante la fase de construcción, operación y cierre**
- **Deberá poseer todas las autorizaciones de los organismos técnicos.**
- **Los accesos y caminos internos tendrán señalización adecuada para el tránsito en el interior de la instalación (dirección, velocidad, áreas restringidas, etc.).**
- **Se deberá tener un Plan de Operación (Recepción, muestreo, análisis y criterios de aceptación de los residuos; Registro de los residuos; Rutas de acceso a las celdas en operación; tránsito de vehículos; descarga de los residuos; tratamiento previo a la disposición de residuos; ubicación en las celdas; etc)**
- **Se deberá contar con un Planes de contingencia así como un manual de Higiene y seguridad y capacitación al personal.**
- **Se proyectará el Plan de cierre y restauración del área.**

Propuesta de Almacenamiento del mercurio basado en el concepto de

BARRERAS INGENIERILES:
el Hormigón como material para su
contención basado en el desarrollo de
inmovilización de residuos radiactivos de
media y baja actividad (antecedente
CONVENIO INTI – CNEA 1998/2005)

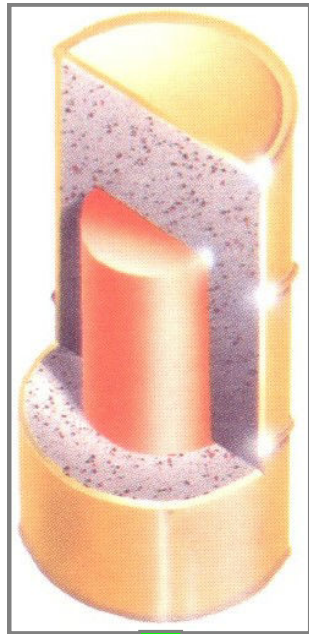


NECESIDAD DE LA DISPOSICION DE MERCURIO

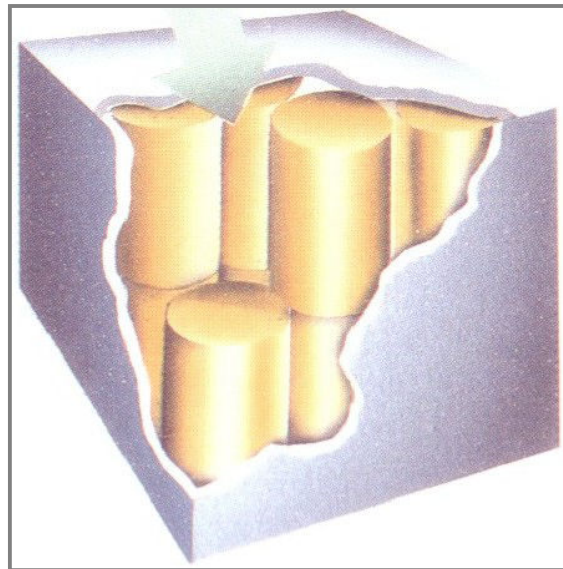
La reglamentación aprobada recientemente

- ***genera la necesidad de un relevamiento de las existencias de mercurio, su disponibilidad y forma de presentación***
- ***impone la necesidad de su disposición***
- ***exige una solución práctica y acorde con el volumen relevado***

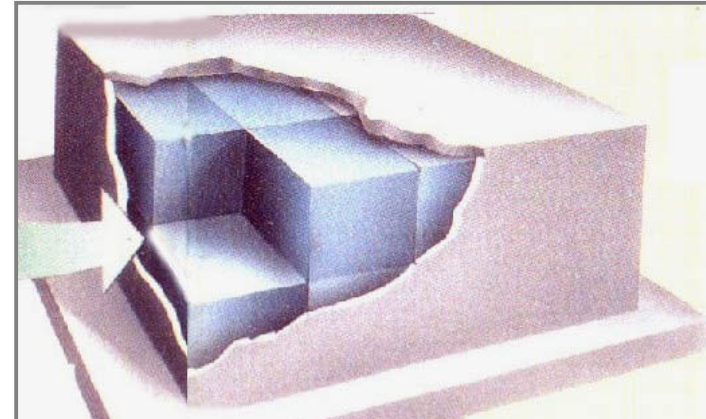
MODELO DE DISPOSICION INTERMEDIA Y FINAL DE RESIDUOS



Residuos en tambores dentro de matriz cementicia



Tambores dentro de un Contenedor



Contenedores dentro de un repositorio



Repositorio enterrado o semienterrado

SISTEMA DE MULTIPLES BARRERAS DE SEGURIDAD

REPOSITORIO

- * Evitar la infiltración de agua
- * Actuar como primera protección ante la intrusión de humanos, animales o plantas

CONTENEDOR

- * Actuar como segunda barrera ante la infiltración de agua u otras sustancias desde y hacia el exterior

MATRIZ CEMENTICIA

- * Mantener a los residuos aislados y confinados para evitar la migración hacia el exterior



PLANTEOS

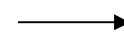
- **Verificar que el Hormigón es un material apto como barrera de seguridad para almacenar residuos de diversas naturalezas**
- **Diseñar contenedores y repositorios de Hormigón**
- **Dosificar y caracterizar hormigones reproducibles para la construcción de contenedores y repositorios**
- **Construir prototipos en escala para el monitoreo de las propiedades**
- **Establecer procedimientos para aplicar la tecnología necesaria en la construcción industrializada de los contenedores bajo estrictos controles de calidad**



ETAPAS EN LA VIDA DE SERVICIO DE UN CONTENEDOR

- Fase de construcción industrializada
- Almacenamiento de los residuos inmobilizados
- Cierre y transporte a su ubicación final
- Vida en servicio

COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL



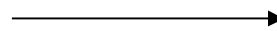
DISEÑO Y ARMADURAS

DURABILIDAD DEL CONTENEDOR



DURABILIDAD DEL HORMIGON

PENETRABILIDAD
Flujo, absorción,
Penetración y difusión



Espesor del recubrimiento
Calidad del hormigón (a:c)
Compactación
Terminación
Curado
Fisuración superficial

Calidad del recubrimiento de las armaduras: Evaluación de la permeabilidad

ETAPAS EN LA VIDA DE SERVICIO DE UNA INSTALACION DE ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS: CONJUNTO DE REPOSITORIOS Y DEMÁS CONSTRUCCIONES PARA EL GERENCIAMIENTO

- **Fase de construcción**
- **Inicio de la recepción de residuos acondicionados (contenedores)**
- **Cierre al alcanzar su capacidad máxima**
- **Acondicionamiento exterior**
- **Control y vigilancia**
- **Vida en servicio**
- **Etapas de banalización: cuando el emplazamiento pueda ser empleado sin restricciones para cualquier uso**



ESTUDIOS DE LABORATORIO

- **Caracterización de materiales**
- **Dosificación de las mezclas**
- **Evaluación de los hormigones**
- **Selección de la mezcla óptima**

ESPECIFICACIONES GENERALES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGON

- **CUC mínimo**
- **Relación a/c máxima**
- **Asentamiento**
- **Aire incorporado**
- **Resistencia potencial a la compresión**



PRINCIPALES PARAMETROS DE CONTROL

- **Propiedades mecánicas: compresión, tracción, flexión**
- **Contracción por secado**
- **Variación dimensional lineal en función de la temperatura**
- **Elevación adiabática de temperatura**
- **Medición de la velocidad de pulso ultrasónico**
- **Resistencia frente a ciclos térmicos (módulo de rotura a flexión, tracción indirecta, ultrasonido)**
- **Porosimetría por intrusión de mercurio**
- **Penetración de agua a presión**
- **Permeabilidad al oxígeno por el Método Cembureau (kO)**
- **Permeabilidad al aire por el Método Torrent (kT)**
- **Succión capilar según norma IRAM 1871**



MONITOREOS POSTERIORES

Resistencia a la compresión a edades prolongadas

Permeabilidad al aire kT durante su vida en servicio “IN SITU”

Permeabilidad al oxígeno kO durante su vida en servicio

Succión capilar durante su vida en servicio

Velocidad del pulso ultrasónico promedio

Espesor del recubrimiento promedio

EJEMPLO DE MOLDE DE CONTENEDOR



Molde. Paredes externas y armadura



Molde de la tapa del contenedor



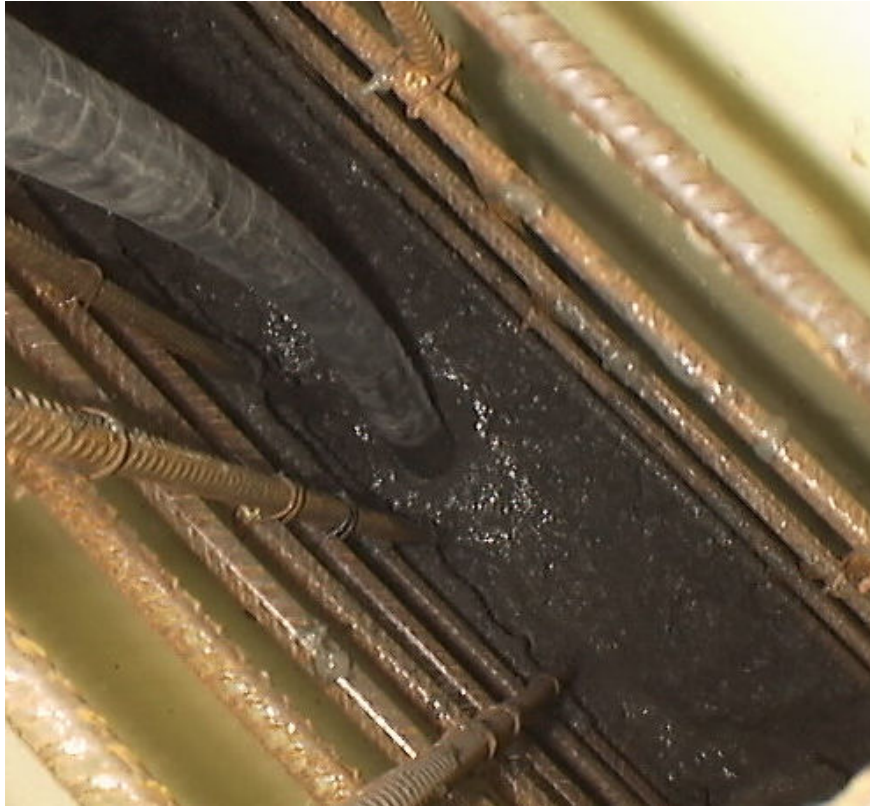
INTI



Ministerio de
Industria
Presidencia de la Nación



Molde del contenedor armado con medios de izaje



Detalle del llenado de las paredes



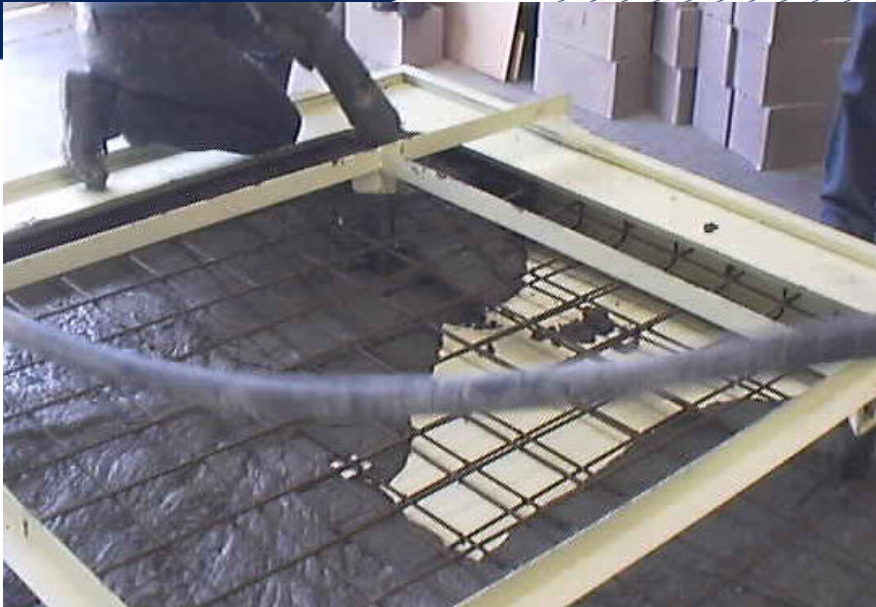
Avance del hormigón en el fondo



Pared llena



Colocación tapa superior



Llenado de la tapa

**Terminación de
la tapa**





**Curado
del
contenedor**

**Curado
de la tapa
contenedor**



Tapa terminada



Contenedor

Mediciones in situ para monitoreo



Determinación de la permeabilidad al aire kT



Determinación del espesor de recubrimiento



INTI



Ministerio de
Industria
Presidencia de la Nación

RESUMEN

- Es posible diseñar mezclas de hormigón que se comporten adecuadamente
- Los estudios físicos, mecánicos y de durabilidad permiten garantizar que los hormigones se correspondan con un material con la durabilidad de diseño y reproducible
- El diseño del molde tiene gran relevancia para las tareas de llenado, compactación y terminación
- Los resultados de laboratorio e in situ vinculados con la permeabilidad, comportamiento mecánico, ausencia de fisuras y compacidad pueden avalar el pronóstico de una prolongada vida útil
- La obtención de un producto de calidad uniforme depende de un **estricto control de calidad** durante la fabricación de los contenedores
- Las características del recubrimiento “covercrete” serían la clave para la determinación del criterio de aceptación y rechazo a aplicar y debería ser evaluado mediante ensayos no-destructivos adecuados
- Debería hacerse énfasis en la elaboración de procedimientos escritos documentados ya que constituyen el punto de partida de cualquier esquema de Control de Calidad
- Se debería determinar un riesgo admisible de aceptación y rechazo sobre una base estadística a partir de la recolección de más datos in situ lo que mejoraría el método de predicción de la vida útil



PROPUESTA

- **Identificar los actores para llevar a cabo el proyecto**
- **Relevar las existencias y formas de presentación de los residuos**
- **Elaborar un proyecto consensuando claramente el objetivo y el alcance teniendo en cuenta los puntos de recolección de los residuos para su transporte y disposición**
- **Identificar fuentes de financiación para el proyecto**
- **Diseñar los recintos con la geometría y dimensiones adecuadas a las necesidades**
- **Proponer tipos de hormigón adecuados para el llenado: Hormigón Autocompactante**
- **Realizar los estudios de laboratorio**
- **Construcción y monitoreo de los recintos**
- **Proponer métodos de construcción industrializada**
- **Diseñar un plan de calidad para su construcción**
- **Articular con todos los actores la forma de transferencia**



INTI



**INDUSTRIA
ARGENTINA**
ORGULLO NACIONAL

¡Muchas Gracias!

Dirección: Av. Gral. Paz 5445
Localidad: San Martín
Provincia: Buenos Aires
Teléfono: 4754-4065 – int.6478
E-mail: alemir@inti.gob.ar
fluna@inti.gob.ar