

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y MANUFACTURERA



**METODOLOGÍA DE INTERCAMBIO IÓNICO PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS EN UN REACTOR
DEL CENTRO NUCLEAR DE HUARANGAL**

TÉSIS

PRESENTADA POR:

Bach. BENJAMIN JAVIER DE LA BARRERA FLORES

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

ASESOR

Ing. PEDRO PIZARRO SOLÍS

Lima – Perú

1,999

DEDICATORIA

A mis queridos y amados padres : Benjamín y Teresa, que con su esfuerzo, abnegación, amor, paciencia, sacrificio, comprensión, confianza, ánimo y acertados consejos, permitieron hacer posible la realización de las metas en mi vida.

A mis hermanos : Luis Felipe, Juan José, Mirtha Cecilia,
Liliana Teresa, Mónica del Rosario
por su apoyo y comprensión en todo
momento, en forma incondicional.

A todos mis hermanos en la fé de nuestro Señor, que me dieron la esperanza de un mundo mejor.

“ Gracias por darme, todo de
ustedes, con amor ”.

BENJAMÍN JAVIER

AGRADECIMIENTOS

Con eterna gratitud a Dios, a nuestro Señor y Salvador, Jesucristo, por su infinito amor, por la oportunidad brindada, para la culminación de mis estudios.

Con un gran Reconocimiento a todas las personas de la Universidad, del Instituto Peruano de Energía Nuclear y del Entorno Familiar, que dieron asesoría técnica, experiencia y un espíritu de superación con lo cuál fue posible realizar la presente Tesis.

Mi profundo agradecimiento a mis asesores por la orientación dada en la realización de la presente investigación.

A los señores miembros del jurado calificador, quienes volcaron de la mejor forma sus recomendaciones, conocimiento y apoyo.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	8
RESÚMEN	9
CAPÍTULO I	
1.1 RESÍDUOS RADIATIVOS LÍQUIDOS DE BAJA ACTIVIDAD EN UN CENTRO NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN	10
1.1.1 Origen de los Residuos Radiactivos Líquidos de Baja Actividad	10
1.1.2 Requerimientos de Descarga para Efluentes Descontaminados	14
1.1.3 Límite de Dosis	15
1.1.4 Caracterización de los Residuos Radiactivos Líquidos	16
1.1.4.1 Propiedades Químicas	16
1.1.4.2 Propiedades Físicas	17
1.1.4.3 Propiedades Radiológicas	19
1.1.4.4 Propiedades Biológicas	24
1.1.5 Criterios de Gestión	25
1.2 TRATAMIENTO DE RESÍDUOS RADIATIVOS LÍQUIDOS DE BAJA ACTIVIDAD	27
1.2.1 Alternativas de Tratamiento	27
1.2.1.1 Precipitación Química	27
1.2.1.2 Evaporación	28
1.2.1.3 Intercambio Iónico	29
1.2.2 Comparación entre las Alternativas de Tratamiento de Residuos Radiactivos Líquidos	31

CAPÍTULO II

2.1	CONSIDERACIONES TÉCNICAS SOBRE INTERCAMBIO IÓNICO POR RESINA	32
2.1.1	Propiedades de las Resinas	32
2.1.1.1	Grado de Entrecruzamiento y Porosidad	32
2.1.1.2	Capacidad de Intercambio	33
2.1.1.3	Tamaño de la Partícula	34
2.1.1.4	Selectividad	34
2.1.2	Reacción de Intercambio Iónico con el Radionucleído de Interés Radiosanitario (Cs-137)	35
2.2	EQUIPOS DE INTERCAMBIO IÓNICO	36
2.2.1	Equipo de Lecho Fijo	36
2.2.2	Comparación entre los Equipos de Lecho Fijo y de Lecho Continuo	38

CAPÍTULO III

3.1	PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA SELECCIÓN DE LA RESINA	41
3.1.1	Consideraciones Generales	41
3.1.2	Selección del Tipo de Resina	42
3.1.2.1	Factor de Descontaminación (F.D.)	42
3.1.2.2	Selección del Tipo de Resina	43
3.1.2.3	Procedimiento Operativo	45
3.1.3	Parte Experimental	46
3.1.4	Cálculo de la Cantidad de Radionucleído en la Solución Radiactiva de Entrada	48
3.1.5	Resultados Obtenidos	49
3.1.6	Discusión de Resultados	53

3.2 DISEÑO DE LOS EQUIPOS	53
3.2.1 Dimensionamiento de los Equipos y Accesorios	53
3.2.1.1 Bases y Cálculos de Diseño	54
3.2.1.2 Diagramas Detallados	60
A) Diagrama de Flujo de la Planta Piloto	61
B) Ubicación de la Planta Piloto	
C) Dibujo Isométrico de la Planta Piloto (Plano No. 7)	
3.2.1.3 Cálculos de la Caída de Presión en el Sistema	62
3.2.1.4 Diagramas Detallados	67
A) Plano No. 7 y Vistas Auxiliares	

CAPÍTULO IV

4.1 EVALUACION ECONÓMICA	68
4.1.1 Bienes de Capital	68
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS	

ANEXO 1

Tabla 1. - Coeficiente de selectividad de resinas catiónicas
Tabla 2. - Propiedades de la resina IR - 120
Tabla 3. - Consideraciones técnicas sobre intercambio iónico por resinas
Cálculo del % de vacío IR - 120, IONAC - 249
Cálculo de la capacidad de intercambio iónico
Parámetros en la operación de servicio
Costo de la resina IONAC - 249
Cotizaciones materiales de PVC, fibra de vidrio y bomba para la planta
Caída de presión en el lecho

ANEXO 2

Instrucciones para la utilización de la cadena de medición
Procedimiento para calibrar el detector
Manejo de las teclas de funciones
Tabla 4. - Curva de eficiencias

ANEXO 3

Planteamiento para la preparación de las soluciones radiactivas
Condiciones previas
Preparación de soluciones radiactivas
Cálculos de la operación en laboratorio
Cálculo del tiempo en la etapa de operación
Hoja de trabajo para el laboratorio
Fotos tomadas en el laboratorio

ANEXO 4

Plano 1 Vista superior de la planta piloto
Plano 2 Vista frontal de la planta piloto
Plano 3 Vista lateral de la planta piloto
Plano 4 Intercambiador iónico armado interior
Plano 5 Intercambiador iónico vistas exteriores
Plano 6 Detalle Distribuidor superior
Glosario de términos

INTRODUCCIÓN

El agua es usada en los Reactores Nucleares, como moderador, por su bajo costo y por su alta sección eficaz para la captura de neutrones.

Para aplicaciones Nucleares, el agua debe estar libre de impurezas, ya que estas capturan neutrones y pueden hacerse radiactivas por reacción

(n, γ) constituyendo un riesgo para la instalación.

La presencia de impurezas iónicas facilita la descomposición del agua por radiólisis con liberación de O_2 y gases que atacan al sistema.

En el Perú se cuenta con dos Reactores Nucleares de Investigación, el Reactor de Investigación RP - 0 y el Reactor de Investigación RP - 10.

Durante el año 1998, se ha operado el RP - 0 con la finalidad de realizar experiencias pre-nucleares y nucleares en frío.

Esta facilidad crítica sirve para la capacitación del personal y como *símil del RP-10* para llevar a cabo experiencias nucleares que permitan un mejor conocimiento tanto del RP - 0 como del RP - 10.

El Reactor de Investigación RP - 10 utiliza agua desmineralizada como moderador y blindaje biológico, para tal efecto cuenta con instalaciones convencionales de tratamiento de aguas.

Los sistemas de tratamiento de aguas se componen de columnas de Intercambio iónico.

Una resina de Intercambio iónico consiste en general de una estructura orgánica polimerizada y entrecruzada, a la que están ligados cierto número de grupos activos y funcionales.

La técnica de separación por Intercambio iónico es aplicable a soluciones diluidas.

Entre otras aplicaciones se puede mencionar:

- Eliminar sustancias indeseables en la solución.
- Sustitución de un ión por otro.
- Separación de iones entre sí.
- Concentraciones ó reducción de volumen.

RESÚMEN

Entre las tecnologías alternativas aplicadas en un Centro Nuclear de Investigación para el tratamiento de los residuos radiactivos líquidos en las aguas contaminadas, la presente investigación tiene por objetivo estudiar la metodología de Intercambio Iónico.

El sistema de tratamiento de los residuos líquidos radiactivos, centralizado por el Sub-grupo de tratamiento de aguas, tiene en la planta de intercambio iónico por resinas un primer tratamiento y se constituye así en un apoyo inicial a la descontaminación, funciona adjunto al sistema de reciclo de agua del circuito primario del reactor.

Para las operaciones de tratamiento de residuos líquidos fuera de las instalaciones auxiliares del reactor se tiene la opción de hacer uso de la técnica de intercambio iónico por resinas, que puede funcionar como una unidad independiente, ó formando parte de sistemas combinados, por ejemplo con la técnica de precipitación química.

La técnica de intercambio iónico se experimentó con las resinas IR-120 y la IONAC-249, cuyas características físico-químicas se mencionan en los puntos correspondientes.

Esta técnica va a reforzar la necesidad de poseer respuestas ante la presencia probable de radioisótopos caracterizados como tóxicos, a los que se vincula el Cs-137.

El desarrollo experimental deviene en la obtención de tres parámetros:

- A) El Factor de Descontaminación (F.D.).
- B) El Factor de Reducción de Volumen (F.R.V.).
- C) El Tiempo de Retención en la Resina (T.R.).

Se han obtenido Factores De Descontaminación significativos, valores altos frente a otras técnicas como la precipitación química, cuando el proceso de Intercambio Iónico se realiza en columnas en serie.

Se llega a valores de F.D. del orden de 1080, cuando la actividad del efluente fue aproximada a 10^{-4} μ Ci / ml, tanto con la Resina IR – 120, así como con la Resina IONAC – 249, se llegan a valores de 1026.

Se ha utilizado la técnica de espectrometría gamma para la determinación de las actividades de las corrientes de líquido radiactivo de ingreso a la resina y de salida de la misma.

CAPÍTULO I

1.1 RESIDUOS RADIATIVOS LÍQUIDOS DE BAJA ACTIVIDAD EN UN CENTRO NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN

1.1.1 ORIGEN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS LÍQUIDOS DE BAJA ACTIVIDAD

A diferencia de las centrales nucleares en donde por la generación de energía nuclear eléctrica la presencia de niveles de actividad son altas, los Centros de Investigación como el Centro Nuclear de 10 Mw de Potencia Térmica, la actividad señalada es baja y eventualmente intermedia.

Los residuos radiactivos se presentan originariamente a nivel de la fisión, encontrándose radioisótopos que no son utilizables para algún proceso posterior como el Na-22, Mg-24, W-187, Sr-90, Cs-137, que se caracterizan por tener su período de semidesintegración de corta duración y de larga duración, por ejemplo, el Co - 60 ($T_{1/2} = 5.24$ Años), y el Cs -137 ($T_{1/2} = 30$ años).

Desprendiéndose las etapas de evaluación de la contaminación radiactiva y la respectiva actividad. [1]

Los radionucleídos en los residuos líquidos están presentes como iones solubles asociados a sustancias químicamente afines.

El uso del procedimiento de intercambio iónico en procesos químicos, con tratamiento de aguas y aguas residuales fue bien desarrollado, mucho antes de que la técnica tuviera su primera aplicación en la industria nuclear.

Desde luego muchos progresos han sido realizados en mejorar la tecnología y diferentes métodos de intercambio iónico han sido frecuentemente usados para adsorber los radionucleídos desde los residuos líquidos.

El proceso incluye intercambio de iones entre el líquido y la matriz sólida la cual contiene grupos polares ionizables.

Cuando los intercambiadores llegan a estar completamente saturados ellos son retirados de servicio y tratados como desechos radiactivos.

Alternativamente, muchos materiales de intercambio iónico orgánico pueden ser regenerados por ácidos ó bases fuertes obteniendo desechos radiactivos líquidos con un alto contenido de sales.

Hay muchas publicaciones en la teoría del intercambio iónico y sus aplicaciones en la industria nuclear.

Los métodos de intercambio iónico tienen una gran aplicación en las operaciones de un ciclo de combustible nuclear y otras actividades que incluyen los materiales radiactivos.

Ejemplos de estas operaciones incluyen la limpieza de los circuitos primarios y secundarios en el agua de los reactores, tratamiento del agua blanda estancada en el combustible almacenado en plantas de fuerza nucleares y plantas de reprocesamiento, en la limpieza de conductos con agua activada y en el tratamiento de desechos líquidos, provenientes de la producción de radioisótopos y el desarrollo de sus aplicaciones.

Una importante consideración en el uso de materiales de intercambio iónico es el almacenamiento, acondicionamiento y disposición de cualquier desecho resultante.

Los orígenes de los líquidos radiactivos fundamentales son

- Fugas controladas y conducidas a sus tanques de almacenamiento del circuito primario.
- Drenajes de lavandería y duchas.
- Drenajes y fugas que haya en el circuito secundario.
- Drenajes de suelos.
- Soluciones de descontaminación de componentes.
- Mezclas de agua con aceites emulsionados.
- Lodos (Sólidos en suspensión 10 % ó más).
- Condensaciones de fugas de vapor que acaban en drenajes de suelos.

- Fugas producidas por fisura en la vaina.
- Soluciones de regeneración de resinas.
- Muestras de laboratorio.
- Fugas de los diversos sistemas a otros. [1]

Las aportaciones cuantitativas más importantes son las cinco primeras.

En los tratamientos de procesamiento que utilizan disoluciones acuosas, la parte principal de la eliminación de residuos, lo constituyen los residuos líquidos.

Dado el posible valor de los productos de fisión aislados ó en mezcla, los desechos líquidos radiactivos se clasifican de manera general como de actividad alta, media y baja.

Se considera de actividad alta el refinado ó efluente líquido procedente de las operaciones de reelaboración del combustible.

Dicho líquido contiene el mayor porcentaje de productos de fisión no gaseosos, el plutonio no recuperado y los actínidos superiores.

Los desechos de alta actividad se almacenan en depósitos refrigerados de acero inoxidable de diseño adecuado, situados generalmente en bóvedas recubiertas de acero.

Se han desarrollado varios métodos de solidificar los desechos líquidos de alta actividad, entre ellos la utilización de lechos fluidificados, lechos agitados, hornos rotatorios, rociado y crisoles.

Todos los métodos consisten en calentar los desechos hasta una temperatura de 400 y 1200 °C, lo que elimina todos los componentes volátiles, dejando sólido calcinado, donde se adiciona componentes de vidrio de borosilicato ó de fosfato que proporciona vitrificación.

Los desechos líquidos de actividad intermedia, se caracterizan por tener volúmenes menores y concentraciones superiores de radionucleídos en comparación con los desechos líquidos de baja actividad, no existe una distinción universalmente aceptada entre ambos.

Los desechos líquidos de actividad intermedia pueden proceder de derrames de disoluciones de limpieza de gases de escape, de productos regenerados por intercambio iónico, de disoluciones de descontaminación de los recipientes, del vertido de los disolventes de la central, de disoluciones químicas de desvainado, de líquidos procedentes de los

ciclos de purificación del uranio y del plutonio, y algunos desechos de laboratorio.

Los desechos líquidos de baja actividad también se generan en reactores nucleares de investigación, que proceden de las actividades de regeneración de resinas de intercambio iónico del sistema primario, del circuito primario del reactor, de la planta de procesamiento de radioisótopos, y laboratorios auxiliares de investigación. [2]

Los residuos líquidos provenientes de Centros de Investigación Nuclear, tienen como característica una composición química y un pH neutro.

Presentan un espectro variable de radionucleídos, siendo sus actividades generalmente bajas y en algunos casos intermedia.

Los Residuos Radiactivos Líquidos Acuosos deberán ser colectados en recipientes plásticos, de capacidad adecuada.

Se debe prestar atención cuando se mezclan líquidos acuosos de diferente pH. [3]

VOLUMEN DE LÍQUIDOS RADIATIVOS GENERADOS EN UN CENTRO NUCLEAR DE INVESTIGACIÓN

TABLA No. 1.1.1 [4]

AÑO	LÍQUIDOS RADIATIVOS (m ³)
1993	100
1994	120
1995	150

1.1.2 REQUERIMIENTOS DE DESCARGA PARA EFLUENTES DESCONTAMINADOS

Los principios que determinan los límites anuales de incorporación (ALI), establecen esencialmente que las prácticas que involucran eliminación de radionucleídos a la biosfera deben ser optimizadas, esto es, que la dosis de radiación asociada al público y a los operadores serán tan bajas como sea razonablemente alcanzables y que además esas dosis estén por debajo de los límites especificados.

El límite de dosis a los miembros del público se alcanza limitando la dosis a un grupo crítico identificado, esto es a un grupo de personas, quienes, por virtud de su ubicación, sus hábitos, etc., son representativos de la población más expuesta.

Existen diferentes opciones para gestionar las corrientes de residuos y cada una de ellas involucra algún tipo de descarga al medio, estas son; descarga directa, la descarga después del tratamiento, y la descarga después de un almacenamiento interino.

Resumiendo, en todas las opciones deben considerarse las dosis de radiación y los costos, evaluando las tasas de exposición a los operadores, las facilidades de tratamiento y almacenamiento interino, así como al público en general, en cuanto a las eliminaciones.

La autorización para la descarga debe incluir:

- La concentración máxima de radiactividad, permisible en el efluente.
- Velocidad de flujo del efluente y volumen total.
- Descargas diarias, mensuales y/ anuales de radiactividad para la actividad total y para grupos de radionucleídos, ó radionucleídos individuales.

Los límites de descarga de los líquidos descontaminados deben ser considerados cuidadosamente.

La determinación de estos límites varía en los diferentes países, pero en todos los casos requiere de un análisis detallado por el productor de residuos y la autoridad reguladora, para lograr un acuerdo en la aceptación de la liberación.

Este límite gobernará directamente el factor de descontaminación requerido y los límites de actividad de la corriente líquida a ser tratada.

Los requerimientos radiológicos no son los únicos parámetros que deben ser tenidos en cuenta.

En el caso del Intercambio Iónico es necesario llegar a retener los radionucleídos en particular con la finalidad de cumplir con las consideraciones físico-químicas de acuerdo a los límites regulatorios:

Además la composición físico - química de los efluentes dependen de:

Las corrientes de residuos generadas,

El nivel de regenerante,

La capacidad de intercambio iónico de la resina,

El flujo de operación.

1.1.3 LÍMITE DE DOSIS

En nuestro país la entidad reguladora(OTAN), ha establecido límites de dosis.

- a. Las dosis del personal ocupacionalmente expuesto (p.o.e.) debe limitarse de modo que cumpla lo siguiente:
 - a.1) 20 mSv de dosis efectiva en un año, como promedio, en un período de 5 años consecutivos,
 - a.2) 50 mSv de dosis efectiva en un año, siempre que no sobrepase 100 mSv en 5 años consecutivos,
 - a.3) 150 mSv de dosis equivalente en un año, en el cristalino,
 - a.4) 500 mSv de dosis equivalente en un año, para la piel y extremidades.

- b. La exposición al público como consecuencia de las prácticas no debe exceder de:
 - b.1) Una dosis efectiva de 1 mSv por año,
 - b.2) Una dosis equivalente en cristalino de 15 mSv por año,
 - b.3) Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv por año.

1.1.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS

1.1.4.1 PROPIEDADES QUÍMICAS

La selección de un proceso de tratamiento para residuos líquidos depende fundamentalmente de sus propiedades químicas, algunas de las cuáles son:

- Composición química.
- pH.
- Potencial zeta.
- Tipo de impurezas.
- Toxicidad.

La composición química de un líquido es un factor de decisión en la selección de ciertos procedimientos de purificación.

La mezcla de ciertas corrientes de residuos sin adecuado control de pH podrían liberar gases tóxicos ó radiactivos, así como muchas veces puede ser necesario el ajuste de pH de corrientes para compatibilizar con la etapa siguiente de inmovilización.

Asimismo el pH es importante cuando se considera los sistemas de colección.

Estos deberán ajustar el pH antes de la colección.

El potencial zeta es de interés particularmente para determinar la dosificación deseada en operaciones de coagulación y floculación.

Es una medida de la carga electrocinética que rodea a las partículas sólidas, suspendidas en el residuo, las cuáles deben ser neutralizadas previamente a la floculación.

La presencia de compuestos orgánicos en una corriente de residuos acuosos es particularmente perjudicial; los compuestos orgánicos como agentes complejantes, detergentes o solventes orgánicos solubles, pueden afectar los procesos de descontaminación o crear riesgos de incendios.

La presencia de compuestos tóxicos es condicionante en la posición definitiva.

Generalmente se originan en los trabajos de investigación y en la preparación de compuestos marcados.

Si la toxicidad es alta será necesario un tratamiento especial y para compuestos menos tóxicos puede ser suficiente la dilución para eliminar el riesgo potencial.

1.1.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas más importantes son:

- Conductividad.
- Turbidez.
- Viscosidad.

La Conductividad de un líquido acuoso suministra información acerca de los electrolitos en solución y, si es alta (mayor que 1 mS / m) no resulta conveniente el tratamiento por intercambio iónico.

La Turbidez indica la presencia de partículas coloidales en el efluente las cuáles requerirán ser removidas previamente a cualquier tratamiento.

Si están presentes componentes orgánicos (por ejemplo: solventes ó aceites).

Estos afectan en los resultados de procesos de floculación y filtración.

La Densidad y la Viscosidad, pueden afectar el bombeo de líquidos.

Sin embargo, en general estos problemas son relativamente menores cuando se decide la adopción de una técnica de tratamiento.

TABLA 1.1.4 [4]
ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS
DE LOS RESÍDUOS LÍQUIDOS EN UN CENTRO NUCLEAR
DE INVESTIGACIÓN

ANÁLISIS	PGRR	RP-10	PPR
PH	7,6	10,63	3,87
CONDUCTIVIDAD	1000 μ S/ cm	1280 μ S/ cm	1750 μ S/ cm
TEMPERATURA	26,2 °C	23,4 °C	23,4 °C
TURBIDEZ	5 NTU	4 NTU	6 NTU
SULFATOS	250 ppm	155 ppm	300 ppm
NITRATOS	20 ppm	n.d.	n.d.
SÍLICE	5 ppm	2,5 ppm	4,8 ppm
DUREZA TOTAL	360 ppm (CaCO ₃)	36 ppm (CaCO ₃)	432 ppm (CaCO ₃)
CALCIO	250 ppm (CaCO ₃)	n.d.	250 ppm (CaCO ₃)
COLORO TOTAL	< 0, 1 ppm	n.d.	n.d.

n.d. : no detectable

PGRR : Agua Potable de la Planta de Gestión de Residuos

RP-10 : Líquido Radiactivo de la Planta de Decaimiento del RP-10

PPR : Líquido Radiactivo de la Planta de Decaimiento de la Planta de
 Procesamiento de Radioisótopos.

1.1.4.3 PROPIEDADES RADIOLÓGICAS

Las propiedades radiológicas de un efluente dado, son probablemente las más importantes, ya que no sólo influirá en la elección del proceso de tratamiento sino también en las condiciones de seguridad en la operación, para minimizar el impacto radiológico sobre los operadores y el medio ambiente.

Las propiedades más importantes a considerar son:

- Inventario de radionucleídos.
- Actividad total y específica.

Los radionucleídos presentes en los efluentes líquidos, influirán en el método de gestión global así como en los requerimientos de blindaje.

Un parámetro radiológico importante, en la disposición final es la concentración de radionucleídos de período largo, particularmente los emisores alfa.

A través de informes de evaluación de seguridad, se analizan los escenarios y rutas por las cuales el hombre y el medio ambiente estarían expuestos a la radiación durante la operación del repositorio y después de su clausura.

**TABLA 1.1.4.3 CATEGORÍAS DE LOS DESECHOS
RADIATIVOS LÍQUIDOS.**

La clasificación de Hanford para líquidos de las operaciones militares de procesamiento fue:

CATEGORÍA	ACTIVIDAD (μ Ci / ml)
Desecho de nivel alto	$A > 100 \mu$ Ci / ml
Desecho de nivel intermedio	$5 \times 10^{-5} \mu$ Ci / ml $< A < 100 \mu$ Ci / ml
Desecho de nivel bajo	$A < 5 \times 10^{-5} \mu$ Ci / ml

El Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AIChE – American Institute of Chemical Engineers) desarrolló un conjunto de categorías basado en las concentraciones máximas permisibles en el agua para desechos líquidos.

CATEGORÍAS DE LOS DESECHOS RADIATIVOS LÍQUIDOS SEGÚN AIChE

CATEGORÍA	ACTIVIDAD (μ Ci / ml)
Desecho de nivel alto	$A > 100 \mu$ Ci / ml
Desecho de nivel intermedio	0.1μ Ci / ml $< A < 100 \mu$ Ci / ml
Desecho de nivel bajo	$A < 0.1 \mu$ Ci / ml

Las categorías de los desechos radiactivos líquidos contienen cinco clases y fue un compromiso entre los requerimientos del tratamiento de los desechos en los establecimientos de investigación y las plantas industriales que tratan combustible nuclear irradiado.

Las categorías propuestas en TRS – 101 para los desechos líquidos son resumidas en la siguiente tabla:

**CATEGORÍAS DE LOS DESECHOS RADIATIVOS LÍQUIDOS
SEGÚN EL OIEA (1970)**

CATEGORÍA	ACTIVIDAD (μ Ci / ml)	OBSERVACIONES
1	$A < 10^{-6}$	Normalmente no tratado
2	$10^{-6} < A < 10^{-3}$	Sin blindaje
3	$10^{-3} < A < 10^{-1}$	Blindaje posible
4	$10^{-1} < A < 10^4$	Blindaje necesario
5	$A > 10^4$	Enfriamiento necesario*

* Enfriamiento necesario = Necesita Decaimiento Radiactivo

**TABLA 1.1.4.3.1 RADIONUCLEÍDOS EN RESIDUOS
RADIATIVOS LÍQUIDOS**

RADIONUCLEÍDO	SÍMBOLO	SEMIPERÍODO T $\frac{1}{2}$	ENERGÍA (Mev)	PROCEDENCIA
ALUMINIO	Al-28	2.24 minutos	2,850	PRODUCTOS DE CORROSIÓN
ARGÓN	Ar-41	110 minutos	1,200 1,290	FISIÓN
CESIO	Cs-137	30,1 años	0,510 0,662	FISIÓN U(n,f)
COBALTO	Co-60	5,26 años	0,310 1,173 1,332	ACTIVACIÓN
CROMO	Cr-51	27,7 días	0,320	CONVERSIÓN INTERNA
MOLIBDENO	Mo-99	67 horas	1,230 0,740	FISIÓN
SODIO	Na-24	15,0 horas	1,392 1,369 2,754	FISIÓN
TELURO	Te -127 m	105 días	0,730 0,083	TRANSICIÓN ISÓMERA

RADIONUCLEÍDO	SÍMBOLO	SEMIPERÍODO T ½	ENERGÍA (Mev)	PROCEDENCIA
TELURO	Te-127	9,3 horas	0,700	PPR
TELURO	Te-129m	33 días	0,106	TRANSICIÓN ISÓMERA
TELURO	Te-129	74 minutos	1,450 1,120	PPR
TECNECIO	Tc-99 m	6 horas	0,140	DE MOLIBDENO 99
TECNECIO	Tc-99	2,1 x 10 ⁵ años	0,292	DE MOLIBDENO 99
TECNECIO	Tc-101	14 minutos	1,320 0,307	DE MOLIBDENO 101
YODO	I-131	8,04 días	0,606 0,364	PPR y RP-10

Donde : T ½ = Período de Semidesintegración del Radionucleído.

PPR = Planta de Producción de Radioisótopos.

RP-10 = Reactor de Investigación de 10 M w.

1.1.4.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Los residuos biológicos se caracterizan entre otras cosas por la presencia de microorganismos en los efluentes.

Los tipos y concentraciones de estos organismos pueden ser importantes desde el momento que exigen una alta demanda biológica de oxígeno, lo cuál puede afectar el tratamiento.

La presencia de sustancias biodegradables en los efluentes, orgánicos e inorgánicos, pueden causar problemas debido a la producción de espuma en los tanques de tratamiento químico y particularmente en los evaporadores.

Además, estos efluentes pueden contener sustancias tóxicas que *interferirán con la seguridad de la operación.*

Por lo tanto deben tratarse en forma separada. [3]

1.1.5 CRITERIOS DE GESTIÓN

Como resultado de la presencia de los residuos líquidos y ante la necesidad de proteger al público y al medio ambiente, se plantea un procedimiento de criterios de gestión en el que está comprendido las siguientes etapas:

Caracterización, Comparación de los límites permisibles, Evaluación del sistema de tratamiento, el tratamiento propiamente dicho, y las etapas subsiguientes que se optan por liberar al ambiente en el caso de no atender al riesgo radiológico y la inmovilización como alternativa de contención, y de seguridad.

Estas etapas se muestran en el Diagrama No. 1

Los Residuos Radiactivos Líquidos en un Reactor de Investigación se resumen principalmente como líquidos de baja actividad, con un volumen promedio de 150 m³/año provenientes de las plantas de decaimiento (PD) del Reactor RP-10 y de la Planta de Producción de Radiosótopos (PPR).

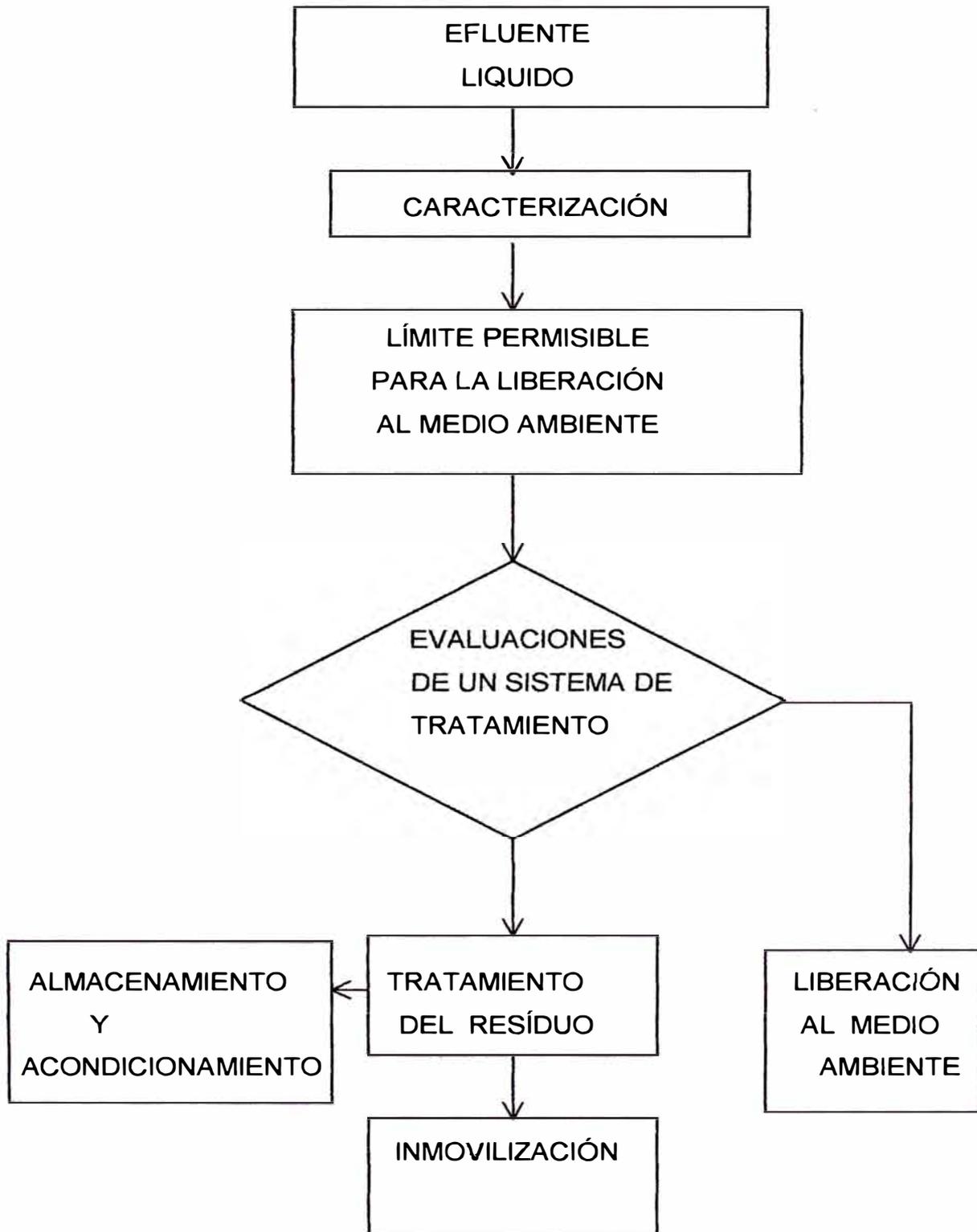
De los cuales unos 40%, lo constituyen los efluentes radiactivos de la PPR.

En el Reactor Nuclear de Investigación se cuenta con residuos provenientes del enjuague de la regeneración del sistema primario del reactor, su volumen en el año llega hasta 90 m³ que luego de un período de decaimiento son evacuados por estar por debajo de los límites regulatorios fijados por la OTAN.

Entre los residuos se encuentran el Na-24, I-131, Mo-99, Wo-187, Tc-101, Co-60, eventualmente se prevee la presencia de Cs-137 y Sr-90, como lo señalan los estudios IPEN - CNEA, para el CNIP (Centro Nuclear de Investigación Peruano).

En los líquidos de PPR se incluyen los radionucleídos que han logrado producirse en el reactor por irradiación generándose compuestos marcados como lo es el I-131, Tc-99, Te-127, Mo-99.

DIAGRAMA No. 1
CRITERIOS DE GESTIÓN



1.2 TRATAMIENTOS DE RESÍDUOS RADIACTIVOS LÍQUIDOS

1.2.1 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

Los procesos de tratamiento de residuos líquidos radiactivos se agrupan generalmente en tres categorías principales, esto es intercambio iónico, precipitación química y evaporación.

Los factores de descontaminación (F.D.), que se obtienen de cada uno son:

- Evaporación: $10^4 - 10^5$
- Intercambio iónico hasta 10^4
- Precipitación química: 10 – 100 pero alcanza valores hasta 10^3

La selección de un sistema de tratamiento para residuos líquidos radiactivos, depende en sumo grado de las propiedades radiológicas, físicas y químicas del residuo, del volumen y frecuencia de generación; asimismo es importante conocer estas propiedades, con respecto a las condiciones de operación en planta y las condiciones proyectadas para el corto y mediano plazo.

Los resultados de estas propiedades, involucra una serie de decisiones, relacionada a diversos factores tales como características de los procesamientos disponibles, costos, almacenamientos intermedios y disposición.

1.2.1.1 PRECIPITACIÓN QUÍMICA

Los procesos de precipitación química son métodos bien establecidos para la remoción de radionucleídos de baja y mediana actividad.

Estos métodos son particularmente atractivos para el tratamiento de grandes volúmenes de efluentes líquidos conteniendo concentraciones relativamente bajas de especies activas.

Debido a la baja concentración de radionucleídos en los residuos líquidos radiactivos (usualmente varias ppm) debe usarse un portador para conseguir una precipitación efectiva.

Como norma, los isótopos estables de los radionucleídos al ser precipitados se usan como portadores pero también con comportamientos químicos similares.

Además de ser precipitados, los radionucleídos pueden adsorberse sobre la superficie de los sólidos formados durante el tratamiento químico.

Especialmente la precipitación de hidróxidos voluminosos conduce a la coprecipitación de varios radionucleídos.

Los radionucleídos pueden también separarse mediante sales mixtas que contengan un catión que interactúe con los radionucleídos, es el caso de la precipitación de Cesio - 137 mediante ferrocianuros metálicos.

El mecanismo es complicado pero puede describirse como un tipo de intercambio iónico.

En general, puede decirse que la descontaminación mediante precipitación química raramente ocurre por un mecanismo único.

Todos los efectos ocurren juntos, debido a que en la mayoría de los residuos líquidos coexisten diversos radionucleídos y en distintas concentraciones, junto con iones no radiactivos.

1.2.1.2 EVAPORACIÓN

Es una técnica bien desarrollada empleada para descontaminar líquidos de alta, media, y baja actividad en instalaciones nucleares.

El proceso se basa en la conversión del agua en vapor, su condensación y su remoción y la obtención de un concentrado conteniendo la mayor parte de los radionucleídos y la actividad.

Los objetivos básicos del proceso de evaporación son la reducción de volumen de los residuos y lograr factores de descontaminación suficientemente altos.

El Factor de Descontaminación, es una constante específica del evaporador y se expresa como la relación entre la actividad específica del condensado.

Para evaporadores de diseño relativamente simple puede esperarse factores de descontaminación de aproximadamente 10^4 .

Si se desea obtener factores de descontaminación mayores, a diseños que permitan reducir la cantidad de gotas de concentrado incorporadas al vapor, para lo cual se hace pasar los vapores a través de una columna lavadora, previamente a la condensación.

La columna lavadora consiste de varias bandejas de burbujeo, ordenadas una arriba de la otra, de modo de permitir el flujo de vapor.

Los evaporadores con un número apropiado de bandejas y altos volúmenes de líquidos lavadores, pueden alcanzar Factores de Descontaminación mayores que los alcanzados por evaporadores de dos etapas.

Las principales limitaciones se relacionan a fenómenos de corrosión, formación de espuma, formación de depósitos o incrustaciones, así como también a la presencia de ciertos compuestos inorgánicos (nitratos) y orgánicos.

1.2.1.3 INTERCAMBIO IÓNICO

El proceso de Intercambio Iónico, como su nombre lo indica, involucra el intercambio de especies iónicas entre el líquido y la matriz sólida conteniendo grupos polares ionizables.

Los materiales que intercambian cationes, se llaman intercambiadores catiónicos.

Ciertas sustancias capaces de intercambiar cationes y aniones, se las llama intercambiadores anfotéricos.

La capacidad de Intercambio Iónico, indica el número de grupos fijos ionogénicos que pueden participar en una reacción de intercambio y es expresada, en general como miliequivalentes por gramo (meq / mg) referida a peso en seco, o en miliequivalente por mililitro (meq / ml) en forma H^+ o Na^+ (para intercambiadores catiónicos) o en la forma Cl^- (para intercambiadores aniónicos).

La capacidad de Intercambio Iónico así definida es una constante para un material dado a intercambiar.

Los métodos de intercambio iónico tienen una amplia aplicación en operaciones del ciclo de combustible nuclear y en otras actividades que involucran materiales radiactivos.

Como ejemplos se pueden citar la descontaminación de los circuitos primario y secundario en centrales nucleares, tratamiento del agua de las piletas donde se almacenan los elementos combustibles gastados en las centrales nucleares y plantas de reprocesamiento, descontaminación de aguas activas provenientes de drenajes, tratamiento de residuos líquidos que se originan en la planta de producción de radioisótopos y de investigación, etc.

Cuando los intercambiadores de especies iónicas están completamente agotados, se los remueve de servicio y se tratan como residuos radiactivos sólidos. [3]

Los procesos de tratamiento tienen como objetivo primario la reducción del volumen de los residuos radiactivos y consisten en la separación de una fracción concentrada conteniendo la mayor parte de los contaminantes del residuo original y una gran corriente remanente de baja actividad susceptible según los casos de ser descargada al ambiente.

La presente Tesis trata de la alternativa de Intercambio Iónico.

1.2.2 COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

TRATAMIENTO	PRECIPITACIÓN QUÍMICA	INTERCAMBIO IÓNICO	EVAPORACIÓN
Factor de Descontaminación (F.D.)	10 - 100 ($\beta - \gamma$) 10 ³ (α)	10 a 10 ⁴ promedio 10 ² a 10 ³	10 ⁴ a 10 ⁵
Factor de Reducción De Volumen (F.R.V)	10 – 100 (Barro Húmedo) 200 – 10 (Sólido Seco)	500 a 10 ⁴	Dependiente del Contenido Salino
Inconvenientes del Proceso	El Volumen de los Flóculos puede ser Importante. Se Necesitan Sistemas de Secado para los Barros	Limitada Estabilidad a la Radiación y el Calor	Sensible a la Espuma, Precipitación de Sales y Corrosión
Tipos de Aplicaciones	Concentración de Especies Activas	Su Contenido de Sales < 1 gr / lt en Desmineralización de Efluentes. Separación de Especies Activas	Concentración de la Solución(Especies Activas y no Activas)
Mantenimiento	Posibles Bloqueos en Líneas de Alimentación y Corrosión	Posibles Bloqueos en los Lechos de Intercambio	Formación de Espuma, Depósitos y Precipitación de Sales. Corrosión
Costo	Relativamente Bajo Costo de Reactivos	> que la Precipitación Química y < que la Evaporación	Alto (Consumo de Energía)

CAPÍTULO II

2.1 CONSIDERACIONES TÉCNICAS SOBRE INTERCAMBIO IÓNICO POR RESINAS SINTÉTICAS

2.1.1 PROPIEDADES DE LAS RESINAS

2.1.1.1 GRADO DE ENTRECruzAMIENTO Y POROSIDAD

Un incremento en el grado de cruzamiento; es decir, el porcentaje en peso de divinil benceno respecto de la cantidad de monómero a usar, produce resinas de alta pureza y menos elasticidad.

Estas estructuras demasiado rígidas en general no son apropiadas puesto que se dificulta el acceso al interior de la resina y con ello a su activación, además no puede absorber el estrés osmótico debido a la poca elasticidad de su estructura.

Finalmente la velocidad de intercambio es proporcional a la movilidad de los iones en el interior de la resina: si la estructura es demasiado densa, el movimiento iónico es lento reduciendo la capacidad de operación de la resina.

Para resinas sulfónicas, la máxima capacidad de operación es obtenida con aproximadamente el 8% de DVB (divinil benceno).

RESINAS MACROPOROSAS

Dos de los problemas encontrados en el uso de resinas de intercambio iónico son el fouling de la resina, y el estrés mecánico impuesto a las plantas que operan a una alta velocidad de flujo.

Para solucionar esto, se sintetizaron resinas con un alto grado de cruzamiento conteniendo poros artificiales abiertos, en forma de canales, con diámetros de hasta 150 nm.

Los que pueden absorber grandes moléculas, resinas en que el polímero es artificialmente expandido por adición de compuestos no polimerizables.

Estas resinas son conocidas como macroporosas o macroreticulares.

* fouling = ensuciamiento de la resina de la resina por la presencia natural de ácidos orgánicos en las aguas de superficie

2.1.1.2 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO

CAPACIDAD TOTAL

La capacidad total de intercambio de una resina, expresada en equivalentes por unidad de peso (o por unidad de volumen), representa el número de sitios activos eficaces.

En intercambiadores de poliestireno el número máximo de sitios activos corresponde al injerto de un grupo activo por anillo aromático.

La capacidad está expresada en equivalentes por kilogramo de resina seca (C_p), o en equivalentes por litro de resina húmeda (C_v).

Los valores de capacidad total para las más comunes de las resinas, están dadas en la siguiente tabla.

TABLA No. 2.1.1.2

TIPO	C_p (eq / kg)	C_v (eq / l)
Fuertemente ácidas	4,5 (Na)	2,05 (Na)
8% DVB		
Débilmente ácidas	11,0 (H)	4,2 (H)

Ver Anexo 1 (Tabla 2)

CAPACIDAD DE OPERACIÓN

Capacidad que está definida como una fracción de la capacidad total usada durante el proceso de intercambio, esta fracción puede ser mayor o menor y depende de algunas variables del proceso como son:

Concentración y tipo de ión a ser absorbido

Velocidad de paso a través del lecho de intercambio

Temperatura del sistema

Profundidad del lecho de resina

Tipo, concentración y cantidad de regenerante

2.1.1.3 TAMAÑO DE LA PARTÍCULA

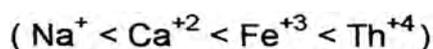
Los intercambiadores típicos tienen forma de granos de un tamaño de 20 a 40 mallas (0,8 a 0,4 mm), y son empleados en la separación de especies iónicas y no-iónicas.

Partículas de menor tamaño son necesarias para separaciones más difíciles.

2.1.1.4 SELECTIVIDAD

Las siguientes son un conjunto de reglas prácticas que sirven como guía para ayudar a un mejor entendimiento en lo que respecta a la selectividad que tiene una resina en cuanto a los iones disueltos en el agua:

A bajas concentraciones (medio acuoso) y a temperatura de ambiente, el potencial de intercambio se incrementa con el incremento de la valencia del ión a intercambiar.



A bajas concentraciones (medio acuoso), a temperatura de ambiente y a valencia constante, el potencial de intercambio se incrementa con el incremento en su número atómico:

(Li < Na < K < Rb < Cs < Mg < Ca < Sr < Ba < F < Cl < Br < I)

1. - A altas temperaturas, ó en medios acuosos de alta concentración, el potencial de intercambio de iones de similar valencia, no se incrementa con el aumento del número atómico.
2. - Iones orgánicos o de alto peso molecular y complejos metálicos aniónicos exhiben un inusual alto potencial de intercambio.
3. - Ya que el grado de entrecruzamiento y la concentración iónica de los intercambiadores no es fija, el coeficiente de selectividad del intercambio en el equilibrio se da en unidades aproximadas.
4. - El orden de selectividad puede ser invertido con la concentración, por ejemplo a 1,000 mg / l de STD para una resina ciclo sodio, ésta muestra preferencia por el Ca^{+2} sobre el Na^{+} , mientras que a 100, 000 mg / l de STD la preferencia se invierte. [5]

2.1.2 REACCIÓN DE INTERCAMBIO CATIONICO CON EL RADIONUCLEÍDO DE INTERÉS RADIOSANITARIO

En general, el intercambio catiónico es vastamente usado para eliminar iones no deseados desde una solución sin cambiar la concentración iónica total ó el pH.

Las resinas pueden ser usadas en muchas formas iónicas, pero la forma sodio es usualmente preferida debido a que esta tiene una afinidad relativamente baja, permitiendo así la adsorción de otros metales. (Ver Fig. 2.1.2)

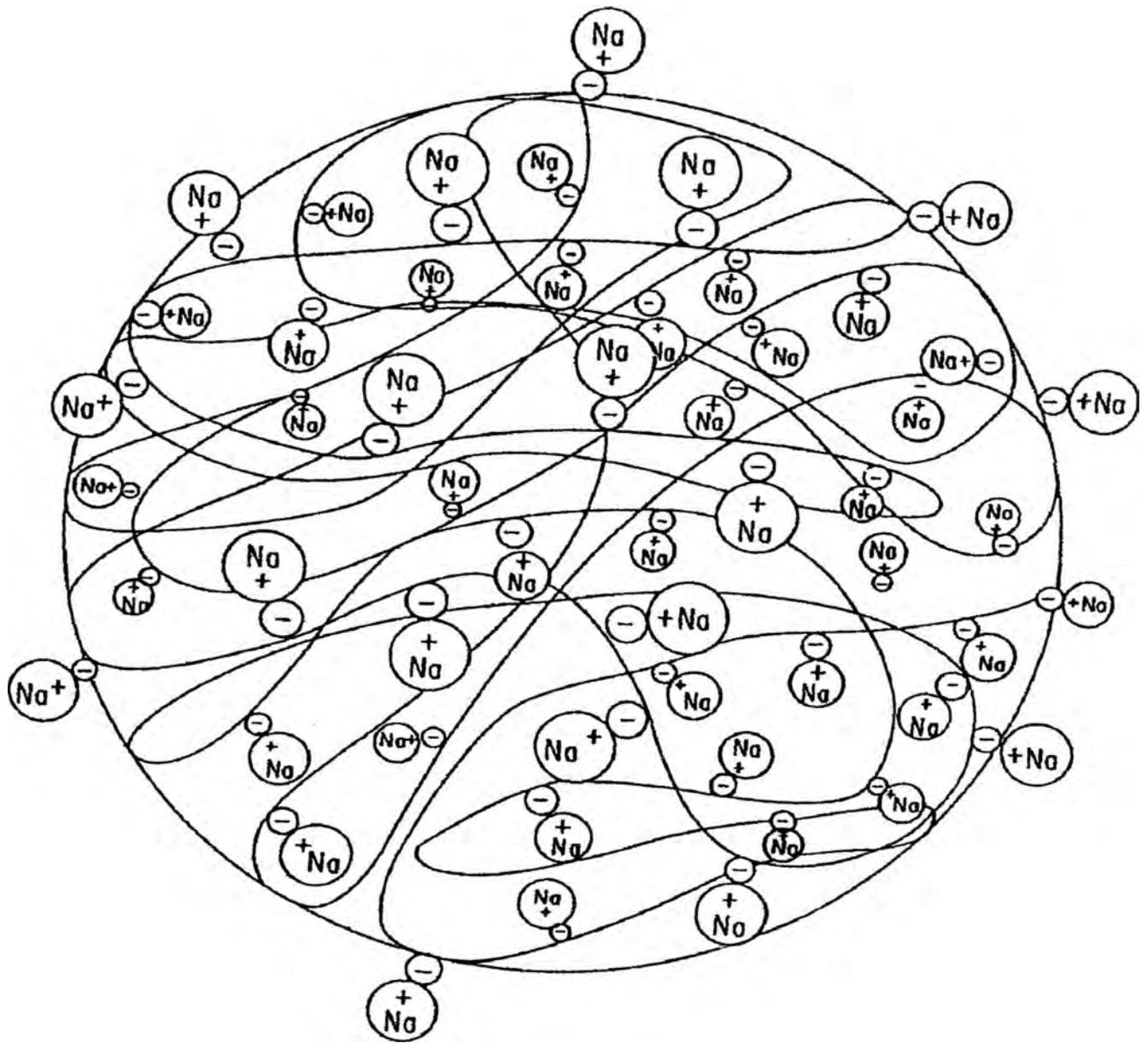


Fig. 2.1.2 Modelo de un intercambiador de cationes, mostrando los sitios de intercambio negativamente cargados sobre el esqueleto que sostiene los iones de sodio como uvas en un racimo.

Además el NaCl tiene menor costo.

El agua contiene según su procedencia, mayor o menor concentración de sales disueltas, además de sílice, de óxido de carbono y en ocasiones sólidos en suspensión de gran tamaño ó coloides.

Una vez eliminándose estos últimos, todos los cationes y aniones, ya sean débiles ó fuertes pueden ser eliminados del agua aplicando para ello un proceso de desmineralización. [6]



Ver Anexo 1 (Tabla 1)

2.2 EQUIPOS DE INTERCAMBIO IÓNICO

2.2.1 EQUIPO DE LECHO FIJO

Un intercambiador iónico típico de lecho fijo consiste en un recipiente cilíndrico y vertical a presión, de acero templado.

El acero templado para este caso puede estar recubierto de caucho natural ó sintético.

En la parte superior y el fondo se instalan rociadores y, con frecuencia, se utiliza un distribuidor separado para la solución regenerante.

El lecho de resina, consiste en varios pies altura, lo sostiene la pantalla del distribuidor o un lecho de soporte de cuarzo graduado.

Se puede diseñar un distribuidor para evitar el escape de las partículas de resina, envolviendo tramos laterales de tubería perforada con tamiz de Sarán ó acero templado o mediante la colocación de un tamiz similar entre placas perforadas, montadas en la parte superior o la inferior de la columna.

Exteriormente, la unidad posee un múltiple de válvula para permitir el funcionamiento de flujo descendente, el retroceso de flujo ascendente, la inyección de regenerante y el enjuagado del regenerante en exceso.

Si la unidad va a tratar un producto de mayor valor que el agua, se tomarán disposiciones para eliminar el producto tan completamente como sea posible, antes de la regeneración y para desplazar el agua de enjuague en forma completa, antes de volver a llenar el equipo con el fluido valioso .

Estas etapas se conocen comúnmente como "retiro" y "adición", respectivamente.

Puesto que las cuentas de resina son porosas, es inevitable cierta dilución del producto con agua.

Esto se puede reducir al mínimo utilizando aire para llegar a desplazar el agua ó el producto de la resina, o bien, recogiendo producto diluído, obtenido durante la etapa de retiro y utilizandolo para la adición.

Se necesita un espacio libre por encima del lecho de resina, para permitir la dilatación del lecho durante el lavado.

Por lo común, la profundidad de ese espacio libre va de 50 a 100 % de la profundidad de la resina, según el tipo de resina. [8]

REVISIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO PARA LECHO FIJO EN EL PASADO Y SU CAMBIO

En el pasado, en la práctica de lecho fijo la dirección de flujo de ambos, el líquido tratado y las soluciones regenerantes generalmente han sido descendentes a través de los lechos de intercambio; esto es llamado flujo (paralelo hacia abajo).

Un ahorro en regenerante y una reducción en la fuga puede ser realizado con aguas con altos sólidos en contraflujo, en vez que el flujo paralelo fuera usado;

que significa el agua fluye hacia abajo durante el agote y el regenerante hacia arriba; ó viceversa.

Las velocidades de flujo durante el agote han sido mantenidas en el rango de 6 a 10 gal/min/pie², para limitar la caída de presión, pero altas velocidades, de 15 a 25 gal/min/pie², son bastante posibles y deberían reducir el tamaño de las unidades y, por lo tanto su costo.

La altura de los lechos de resina generalmente han sido limitados a menos de 5 pie, también para el propósito de limitar la caída de presión, pero para aguas con sólidos altos, lechos más profundos, por sobre los 10 pies, son bastante posibles y deben reducirse el área de las columnas cuando los volúmenes de resina deben ser grandes. [9]

2.2.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS EQUIPOS DE LECHO FIJO Y DE LECHO CONTINUO

No hay lechos compactados de diseño verdaderamente continuo y a contracorriente en funcionamiento comercial adecuado; pero el término general de “ continuo “ se aplica a los equipos de intercambio iónico en los que la resina y las soluciones de contacto fluyen a contracorriente; pero de manera intermitente.

Típicamente, el flujo de la solución se realiza a través de un lecho compactado de resina durante varios minutos o más y se detiene menos de un minuto, para permitir el flujo de una cantidad medida de resina.

El flujo de la resina se hace en incrementos que representan una fracción pequeña de la columna total de resina en la sección de carga ó extracción, por lo que se pueden obtener, aproximadamente, las ventajas químicas del funcionamiento real a contracorriente.

Cuando se conoce la velocidad de carga de la resina, se pueden dimensionar en forma independiente las otras secciones, para que se ajusten a esa velocidad,

en contraste con el lecho fijo, donde la velocidad de carga afecta al tamaño de la columna y a la cantidad de resina; pero la longitud del servicio entre regeneraciones y el tiempo necesario para regeneración, limitan la capacidad diaria de la unidad y establecen el número de unidades paralelas que se requieren para mantener una operación continua.

Si la velocidad de carga es muy alta, se requieren lechos múltiples fijos para mantener uno de ellos en servicio; así se puede diseñar una unidad continua simple para proporcionar la misma capacidad diaria, con un ahorro de requisitos de espacio y costos de capital.

Será evidente que el intercambiador iónico " continuo " no mantiene el flujo del producto durante el desplazamiento de la resina; pero este período es suficientemente breve como para permitir la disposición económica de tanques de alivio, resulta también evidente que una unidad continua simple no proporciona reservas de urgencia para el mantenimiento, mientras que los lechos fijos dúplex ó múltiples incluyen automáticamente cierta cantidad de reserva, con una cantidad sujeta a los fines del diseñador. [9]

COSTOS DEL INTERCAMBIADOR DE IONES

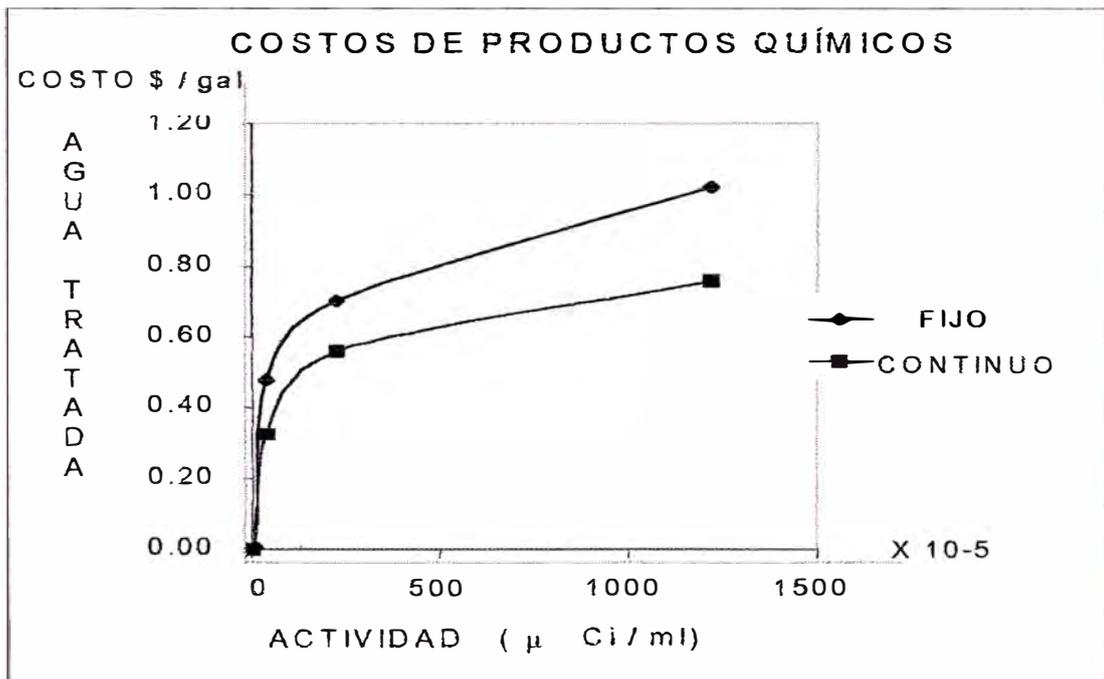
Por regla general, los lechos fijos son más económicos para velocidades de flujo de menos de 300 gal / min y para circunstancias en que las unidades dúplex proporcionarán un flujo continuo de producto.

Las unidades continuas son más económicas para flujos por encima de 300 gal / min, cuando la velocidad de carga es de tal índole que se necesitan tres o más lechos fijos paralelos para mantener el servicio continuo.

En la gama de capacidades de 750 a 1500 gal / min, los procesos continuos, como el Asahi, requieren una inversión de capital de 25 a 30 % menos y una erogación de 25 a 40 % menos para los productos químicos de regeneración que en los procesos de lecho fijo.

En la siguiente Fig. 2.2.2 se muestran costos relativos a productos químicos de regeneración, tanto para equipos intercambiadores de iones de lecho continuo así como de lecho fijo. [9]

Fig. 2.2.2



CAPÍTULO III

3.1 PRUEBAS EXPERIMENTALES PARA LA SELECCIÓN DE LA RESINA

3.1.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Durante los últimos años, una serie de países, a nivel mundial que cuentan con reactores nucleares han desarrollado diferentes programas científicos y técnicos para la descontaminación de residuos radiactivos líquidos de baja y mediana actividad que contienen radionucleídos de interés sanitario como es el Cs-137.

Se han propuesto una serie de métodos como: precipitación química, absorción, intercambio iónico, el uso de técnicas combinadas, técnicas electroquímicas, etc.

El objetivo de esta experiencia, es descontaminar las aguas efluentes de un Reactor de Investigación, conteniendo Cs-137 empleando resinas sintéticas de intercambio iónico, y luego disponerlas en forma segura.

Algunos de los países que realizan tratamiento de los residuos por intercambio iónico para descontaminación del Cs-137 son:

TABLA 3.1.1 [7]

PAÍS	LUGAR	RADIONUCLEÍDO	RESINA	F.D.
Alemania	Hahn-Meitner	Cs-137	Catiónica	1,000
Estados Unidos	Idaho-Falls	Cs-137	Catiónica	200
Estados Unidos	Savannah-River	Cs-137	Zeolitas sintéticas	200
Holanda	Petten	Cs-137	Catiónica	100

3.1.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE RESINA

Se realizará una evaluación experimental de las diferentes operaciones de intercambio iónico en muestras simuladas y preparadas, conteniendo concentraciones detectables de Cs-137.

El objetivo es evaluar y determinar una operación óptima para la adsorción de Cs-137 desde soluciones radiactivas acuosas, determinando los factores de descontaminación y de reducción de volúmen para la solución, asimismo el tiempo de retención de la resina.

El método ha ser utilizado en el desarrollo de la experiencia será el de comparación y análisis.

Las diferentes muestras de aguas contaminadas serán analizadas, por la metodología de intercambio iónico.

Culminado las pruebas a nivel de laboratorio, se planteará aplicar la selección de la resina con más alto F.D. a nivel de planta piloto.

Las operaciones que se utilizarán para las pruebas en el laboratorio se efectuarán considerando las referencias bibliográficas más recientes a nivel internacional.

Las muestras utilizadas durante las pruebas serán preparadas desde una solución patrón, las cuales presentaran diferentes concentraciones de actividad del Cs-137 (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} μ Ci / ml).

3.1.2.1 FACTOR DE DESCONTAMINACIÓN (F.D.)

Una unidad de medida de la calidad de la separación del radionucleído es el factor de descontaminación, cuya abreviatura es F.D.

Es definida de la siguiente manera:

$$F. D. = \frac{\text{Concentración de radiactividad en la alimentación}}{\text{Concentración de radiactividad en el efluente}}$$

El Factor de Descontaminación, para cada radionucleído es controlado por los respectivos requerimientos con respecto al posterior procesamiento del residuo.

En principio, es seguro decir que el F.D. es mejor mientras más alto, su valor.

La descontaminación moderada puede ser asegurada sólo si el volumen de residuo radiactivo es reducido considerablemente para que el material que contiene los radionúclidos sea procesado posteriormente para un almacenamiento seguro.

La misma relación puede emplearse para calcular los Factores de Descontaminación para radionucleídos específicos, actividad alfa total y actividad total beta- gamma.

3.1.2.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE RESINA

Se realizará una evaluación experimental de las diferentes operaciones de intercambio iónico en muestras simuladas y preparadas, conteniendo concentraciones detectables de Cs-137.

El objetivo es evaluar y determinar una operación óptima para la adsorción de Cs-137 desde soluciones radiactivas acuosas, determinando los factores de descontaminación y de reducción de volumen para la solución, asimismo el tiempo de retención de la resina.

El método ha ser utilizado en el desarrollo de la experiencia será el de comparación y análisis.

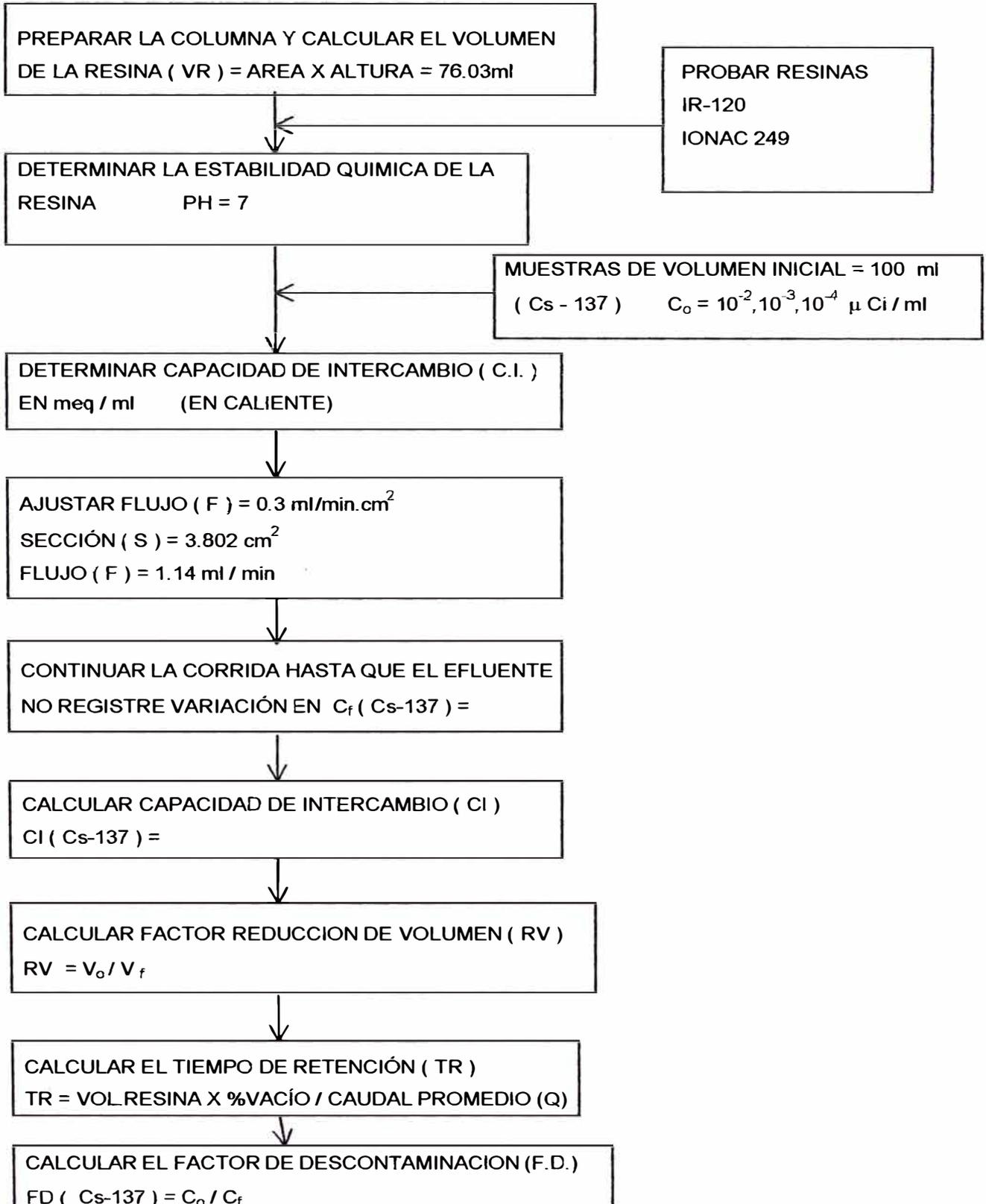
Las diferentes muestras de aguas contaminadas serán analizadas, por la metodología de intercambio iónico.

Culminado las pruebas a nivel de laboratorio, se planteará aplicar la selección de la resina con más alto F.D. a nivel de planta piloto.

Las operaciones que se utilizarán para las pruebas en el laboratorio se efectuarán considerando las referencias bibliográficas más recientes a nivel internacional.

Las muestras utilizadas durante las pruebas serán preparadas desde una solución patrón, las cuales presentaran diferentes concentraciones de actividad del Cs-137 (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} μ Ci / ml).

3.1.2.3 PROCEDIMIENTO OPERATIVO INTERCAMBIO IONICO (EN CALIENTE) AGOTE



3.1.3 PARTE EXPERIMENTAL

Serán proporcionados por los laboratorios de la planta de gestión de residuos radiactivos y del sub-grupo de tratamiento de aguas del Centro Nuclear "RACSO".

EQUIPOS

Sistema de espectrometría gamma con detector de centelleo sólido de NaI (TI) 3 x 3", preamplificador marca Tennelec 154, con blindaje cilíndrico de 4 cm de espesor.

Electrónica asociada: fuente de alto voltaje Tennelec TC 948, amplificador Tennelec TC 241 y, una tarjeta electrónica multicanal nucleus PCA II, y una microcomputadora PC / 486 marca Samsung.

Balanza analítica marca Fisher Scientific, modelo A-250.

Detector de área marca Victoreen, modelo 05-423.

Detectores de contaminación marca Victoreen, modelo 491-30.

01 columnas de intercambio iónico de 1 pulg. de diámetro, 100 ml de volumen de resina.

REACTIVOS QUIMICOS.

Resinas de intercambio iónico catiónica fuerte IR-120, IONAC -249.

ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Jeringas descartables de 10 ml, 5ml, 1 ml

Guantes descartables de latex.

Frascos de pvc de 125 ml

Papel secante

Bolsas de pvc

Cubrezapatos

Dosímetro de película.

TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Los datos experimentales serán presentados en tablas y gráficas las cuales recibirán tratamiento matemático-estadístico para determinar el promedio del conjunto de datos (contaje total) luego se calculará los siguientes valores:

1. - Factor de Descontaminación (FD)
2. - Factor de Reducción de Volúmen (FRV)
3. - Tiempo de Retención de la Resina(T R)

SECUENCIA DE TRABAJO:

1. - Montaje del equipo
2. - Acondicionar las resinas
3. - Preparar los reactivos
4. - Realizar simulacros en frío
5. - Realizar las corridas correspondientes con c/u de las resinas, en caliente

Ver Anexo 3 (Relativo a la parte experimental en el laboratorio en frío y en caliente)

3.1.4 CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE RADIONUCLEÍDO

Cs⁺ - 137 EN LA SOLUCIÓN RADIACTIVA A LA ENTRADA

La cantidad de radionucleído Cs⁺ - 137, se calcula con el fin de obtener los # Eq - gr de Cs⁺ - 137, a retener en la columna de Intercambio Iónico, lo cuál se determina con el procedimiento siguiente:

FÓRMULAS:

$$m \text{ Cs}^+ - 137 = \frac{A_o \cdot P \cdot at}{\lambda \cdot N_A}$$

$$\# \text{ Eq - gr} = \frac{m \text{ Cs}^+ - 137}{P.\text{equiv. Cs} - 137}$$

DATOS DE ENTRADA

$$C_o = 1.0 \times 10^{-4} \mu \text{ Ci} / \text{ml}, \quad V_o = 150 \text{ m}^3 / \text{año}$$

$$A_o = \frac{1.0 \times 10^{-10} \text{ Ci} \cdot 10^6 \text{ ml} \cdot 150 \text{ m}^3 / \text{año}}{\text{ml} \cdot \text{m}^3} = 0.015 \text{ Ci}$$

Cálculo de λ

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} \quad T_{1/2} (\text{Cs}^+ - 137) = 30 \text{ años}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{30 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} = 7.325 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1}$$

Reemplazando valores en la fórmula, para $m \text{ Cs}^+ - 137$ obtenemos:

$$m \text{ Cs}^+ - 137 = \frac{0.015 \text{ Ci} \cdot 132.95 \text{ gr} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} / \text{Ci}}{7.325 \times 10^{-10} \text{ seg}^{-1} \times 6.023 \times 10^{23} \text{ at}}$$

$$m \text{ Cs}^+ - 137 = 1.672 \times 10^{-4} \text{ gr}$$

Reemplazando valores en la fórmula, para # E q-gr obtenemos :

$$\# \text{ E q-gr Cs}^+ - 137 = \frac{1.672 \times 10^{-4} \text{ gr}}{132.95 \text{ gr} / \text{Eq-gr}} = 1.258 \times 10^{-6} \text{ Eq - gr}$$

$$\# \text{ E q-gr} = 1.258 \times 10^{-6} \text{ Eq - gr}$$

3.1.5 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación pueden observarse los Resultados 1 y 2 obtenidos en caliente con las diferentes resinas, IR – 120 y IONAC – 249, los cuáles indican mejores Resultados alcanzados para el FD con la resina IR – 120, en las condiciones establecidas de $\text{pH} = 7$ y $Q = 1.14 \text{ ml / min}$.

Asimismo, se deduce, cuando las concentraciones a la entrada ($\mu \text{ Ci / ml}$) son más bajas, se alcanza mayores valores para el FD, por consiguiente los valores de concentración a la salida, después de pasar por la columna de Intercambio Iónico están próximos al Fondo natural.

En los Resultados experimentales 3, se indica un resumen de los valores promedio determinados para C_o , C_f ($\mu \text{ Ci / ml}$), V (m^3), Q (lt / min), FD, FRV, y TR (min), para c / u de las resinas empleadas en el laboratorio, asimismo se presenta el cálculo de algunos de ellos (FRV y TR).

Para determinar C_o , C_f ($\mu \text{ Ci / ml}$), se remite a los Anexos, 2 y 4, necesarios de conocer para el cálculo de estos valores.

El FD se calcula como el factor C_o / C_f .

Los valores de V (m^3) y Q (lt / min) indicados, se consideran datos de entrada.

RESULTADOS EXPERIMENTALES 1

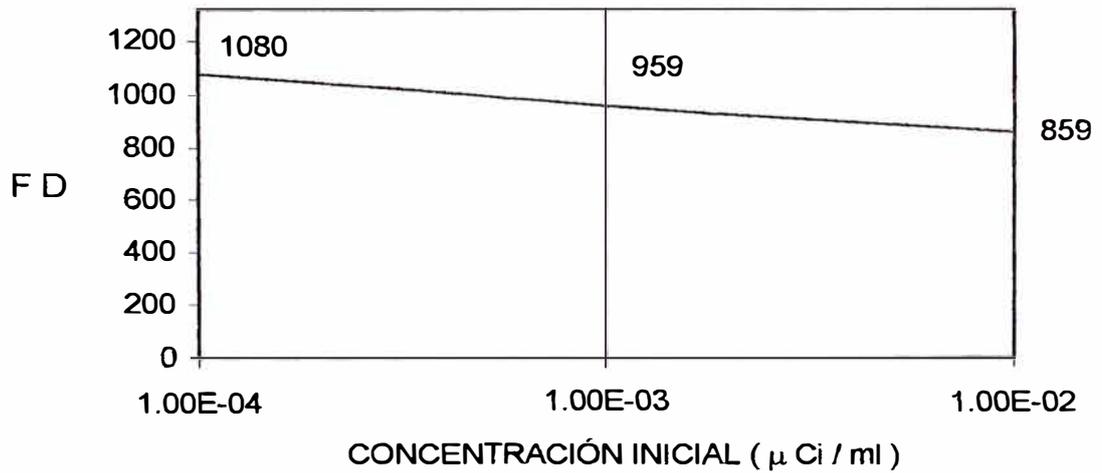
RESINA	IR - 120
PH	7
FLUJO	1.14 ml / min

TABLA 1. -

CONCENTRACIONES (μ Ci / ml)	FD	S
1.00E-04	1080	0
1.00E-03	959	0
1.00E-02	859	0

GRÁFICO 1. -

FACTOR DE DESCONTAMINACIÓN
Vs CONCENTRACIÓN INICIAL



RESULTADOS EXPERIMENTALES 2

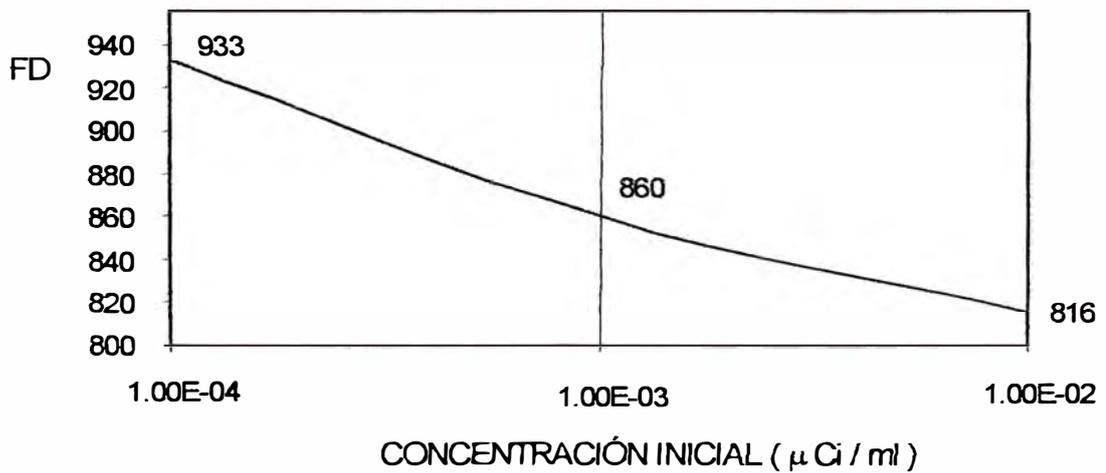
RESINA	IONAC - 249
PH	7
FLUJO	1.14 ml / min

TABLA 2. -

CONCENTRACIONES ($\mu\text{Ci/ml}$)	FD	S
1.00E-04	933	1.07
1.00E-03	860	1.07
1.00E-02	816	4.03

GRÁFICO 2. -

FACTOR DE DESCONTAMINACIÓN
Vs CONCENTRACIÓN INICIAL



RESULTADOS EXPERIMENTALES 3

Para medir C_o y C_f se necesita conocer lo indicado en los sgtes Anexos
Ver Anexo 2, y el Glosario de Términos (Control ambiental) Anexo 4

RESINA IR – 120 [11]

C_o (μ Ci / ml)	V (m^3)	Q (lt / min)	FD	C_f (μ Ci / ml)
10^{-4} (μ Ci / ml)	150	1.3	1080	9.26×10^{-8}
10^{-3} (μ Ci / ml)	150	1.3	959	1.05×10^{-6}
10^{-2} (μ Ci / ml)	150	1.3	859	1.16×10^{-5}

RESINA IONAC – 249 [15]

C_o (μ Ci / ml)	V (m^3)	Q (lt / min)	FD	C_f (μ Ci / ml)
10^{-4} (μ Ci / ml)	150	1.3	933	1.08×10^{-7}
10^{-3} (μ Ci / ml)	150	1.3	860	1.16×10^{-6}
10^{-2} (μ Ci / ml)	150	1.3	816	1.23×10^{-5}

$$FRV = \frac{150,000 \text{ lt}}{260 \text{ lt}}$$

$$TR = \frac{260 \times 0.40}{1.3 \text{ lt / min}} *$$

$$FRV = 577$$

$$TR = 80 \text{ min}$$

FD = Factor de descontaminación

FRV = Factor de reducción de volúmen

TR = Tiempo de retención

- Ver Anexo 1 (Cálculo del % de vacío)

3.1.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Desde el punto de vista técnico analizando los resultados para el FD usando las diferentes resinas, se seleccionará la resina IR-120, por tener un valor para el FD de 1080, superior a los obtenidos con la resina IONAC 249 para

$$Co = 1.0 \times 10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{ml}.$$

3.2. DISEÑO DE LOS EQUIPOS

3.2.1 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS Y ACCESORIOS

Cuando se realiza el tratamiento de Intercambio Iónico para Resíduos Líquidos de baja actividad, luego que se ha realizado la técnica de Precipitación Química, sus concentraciones salen del orden de $10^{-4} \mu\text{Ci} / \text{ml}$ a $10^{-3} \mu\text{Ci} / \text{ml}$.

Bajo estas concentraciones la operación unitaria de Intercambio Iónico nos debe asegurar que la Actividad se reduzca a valores próximos al de Fondo Natural, es decir, para el caso de los radionucleídos de interés, como es el Cs-137, debemos alcanzar concentraciones menores ó iguales a $10^{-6} \mu\text{Ci} / \text{ml}$, en la fase del Clarificado.

Esta es la fase que se va evacuar al desagüe común, debido a que la técnica de Intercambio Iónico va a complementarse con la operación de Precipitación Química.

Los resultados de las Pruebas Experimentales tales como el FD alcanzado, así como la velocidad del líquido a través del lecho, servirán de base para los cálculos de diseño de la planta piloto.

3.2.1.1 BASES Y CÁLCULOS DE DISEÑO

A) Según los antecedentes Bibliográficos y la experiencia de este tipo de tratamiento en otros países, y tomando en cuenta los costos involucrados, se desprende que para flujos < 300 gal/min, se recomienda aplicar el procedimiento de Intercambio Iónico por columna de Lecho Fijo.

[8, Cap.19, pág. 44]

Para determinar el caudal del agua (contaminada con radionucleídos) que será tratada en el Equipo de Intercambio Iónico, se requiere lo siguiente :

El cálculo del caudal se realiza del siguiente modo:

Datos de Entrada:

- Volúmen/año = 150 m³ / año
- Días/ mes = 20 días/mes
- Horas de trabajo/día = 8 hr/día

Cálculo del Caudal

$$Q = \frac{150 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ lt} / \text{m}^3}{20 \text{ días/mes} \times 12 \text{ meses} \times 8 \text{ hr/día} \times 60 \text{ min/hr}}$$

$Q = 1.3 \text{ lt} / \text{min} = 0.344 \text{ gal} / \text{min}$
--

Como el Caudal hallado es menor que los 300 gal / min, entonces se justifica el sistema de lecho fijo.[8, Cap.19, pág.44]

B) Las resinas serán usadas una sola vez, además no serán regeneradas, y posteriormente pasarán a ser acondicionadas.

No habrá retrolavado, regeneración, ni enjuague, a diferencia de las operaciones convencionales de Intercambio Iónico que consideran las cuatro etapas.

Existirá una limpieza sólo cuando se retire la resina agotada, para iniciar un nuevo batch.

Las resinas una vez que se saturan, será retiradas para su cementación en una operación de mezclado con cemento y aditivos, de modo de inmovilizarlas en cilindros metálicos. [9]

C) Para efectos de cálculo para la concentración a la entrada se estima el valor C_0 en $1.0 \times 10^{-4} \mu \text{ Ci} / \text{ml}$, ya que en plantas similares con reactores nucleares de investigación las concentraciones son de este orden. [10]

D) En La Distribución de Planta según la Vista Superior en el Anexo 4, el área destinada para la planta piloto de Intercambio Iónico, que se halla ubicada en la Planta de Gestión de Resíduos Radiactivos, tiene las siguientes dimensiones:

Largo = 8 m, Ancho = 6.0 m, Altura = 6.50 m

E) El tiempo hasta el agote de la resina, depende del volúmen de la resina (VR), y el VR depende de la velocidad del líquido a tratar, así como de la concentración de los contaminantes. [11]

F) La resina no debe de exceder de una actividad total de 0.228 Ci, por consideración de protección radiológica.

Esto se puede determinar a partir de la siguiente fórmula

$$\text{Tasa de Dosis (X)} = A \sigma / d^2$$

Donde:

A = Actividad

d = Distancia

σ = Factor σ (Cs – 137)

Reemplazando los datos de entrada en la fórmula se obtiene:

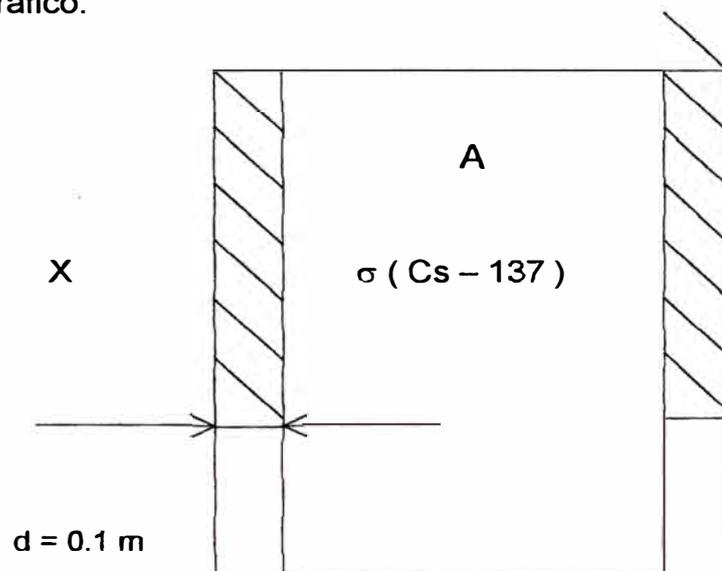
$$\text{Tasa de Dosis (X)} = 5 \text{ mRem / hr} = A \cdot 0.219 \text{ mRem} \cdot \text{m}^2 / \text{hr} \cdot \text{Ci} / (0.1)^2 \text{ m}^2$$

$$\text{Despejando A resulta :} \quad A = 0.228 \text{ Ci} \quad [12]$$

Donde la Tasa de Dosis es la cantidad de radiación que recibe el personal ocupacionalmente expuesto (p.o.e.) a una distancia de 10 cm.

Esta radiación depende de la Actividad de los radionucleídos en el lecho de resina (A), y de la distancia (d) entre el Equipo y el Operador de Planta.

Ver el Siguiete Gráfico.



G) Para el cálculo del Volumen de la Resina (VR), no se utilizará la Capacidad de la Resina, ni la Actividad (A) de 0.228 Ci, como limitantes, como se demostrará con el siguiente análisis.

G1) Cálculo del Volúmen de Resina (VR) teniendo en cuenta la Capacidad de la resina.

La cantidad de $Cs^{+} - 137$ correspondiente a su Actividad, está en el orden de 1.258×10^{-6} Eq – gr, y de otro lado la resina es de buen grado de retención por las especificaciones ya señaladas y experimentadas el Volumen Mínimo Necesario de Resina (VR) es el siguiente:

$$\# \text{ Eq-gr } Cs^{+} - 137 = 1.258 \times 10^{-6}$$

(se calculó en base a la Actividad Total a Tratar)

Capacidad de la Resina IR-120 = 1.54 Eq – gr / lt

Ver Anexo 1 (Tabla 3)

[11]

Cálculo de la capacidad de Intercambio Iónico

Entonces:

$$VR = \frac{\# \text{ E q-gr } Cs^{+} - 137}{\text{Cap. IR - 120}} = \frac{1.258 \times 10^{-6} \text{ Eq - gr}}{1.54 \text{ Eq - gr / lt}}$$

$$VR = 8.17 \times 10^{-7} \text{ lt de resina (despreciable)}$$

G2) Cálculo del Tiempo de Saturación para toda la resina en función de la Tasa de Dosis permisible:

Tasa de Dosis permisible = 5 mRem/hr

$$\text{tiempo (t)} = \frac{A \text{ saturación (Ci)}}{\text{Co (Ci / ml) } \cdot Q \text{ (ml / año)}}$$

Sabemos que:

Actividad de Saturación (A sat.) = 0.228 Ci

Concentración a la Entrada (C o) = 10^{-10} Ci / ml

Caudal a Tratar (Q) = 150×10^6 ml / año

[12]

$$\text{tiempo (t)} = \frac{0.228 \text{ Ci}}{10^{-10} \text{ Ci / ml } 150 \times 10^6 \text{ ml / año}}$$

Efectuando resulta:

$$t = 15.22 \text{ años}$$

Considerando este resultado, donde se asume que todo se retiene, ya que el FD es alto, se tomará el tiempo para el cambio de la resina de 15 años.

H) Para el Cálculo del Volumen de la Resina (VR) se utilizará la velocidad a través del lecho, por ser el factor limitante.

Considerando los resultados obtenidos en el laboratorio, como fueron un FD del orden de 1000, se obtiene una aceptable retención del Cs-137, con el valor de la velocidad (v) = 0.3 cm / min , procedemos a determinar el diámetro (D) del Tanque Cilíndrico para la columna propuesta para la planta piloto.

CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN EL LABORATORIO (v)

Se empleará la fórmula Caudal (Q) = velocidad (v) . área (S)

$$Q = 1.14 \text{ cm}^3 / \text{min} = v \cdot 3.802 \text{ cm}^2 \quad [13]$$

$$v = 0.3 \text{ cm / min}$$

CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE LA COLUMNA PARA LA PLANTA PILOTO

Se empleará la fórmula Caudal (Q) = velocidad (v) . área (S)

Despejando resulta: $S = Q / v$ $\implies \frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{v}$

Dato de entrada:

$$Q = 1.3 \text{ lt / min}$$

Reemplazando en la fórmula Q y v despidando se obtiene el diámetro (D)

$$\text{Diámetro (D)} = \left(\frac{4 \times 1.3 \times 10^3 \text{ cm}^3 / \text{min}}{\pi \times 0.30 \text{ cm} / \text{min}} \right)^{1/2}$$

Efectuando resulta:

$$D = 74.3 \text{ c m}$$

Además otros parámetros importantes para el lecho fijo son:

Altura mínima del lecho (h) = 60 cm Ver Anexo 1 (Tabla 3) [11]

Conociendo D y h se calcula el Volumen de resina (VR), utilizando la fórmula para calcular el volumen de un cilindro de diámetro (D) y altura (h).

$$\text{Luego: } VR = \frac{\pi D^2 \times h}{4}$$

$$VR = \frac{\pi \times (74.3)^2 \text{ cm}^2 \times 60 \text{ cm}}{4}$$

Efectuando resulta:

$$VR = 260 \text{ lt}$$

Otros datos importantes para el tamaño del tanque cilíndrico que serán utilizados luego son:

Volumen de cámara de expansión = aprox. 75 % de 60 cm [14]

Altura de expansión = 45 cm

Altura de capa de grava = 30 cm [14]

Altura del intercambiador sin tapas = 135 cm

3.2.1.2 DIAGRAMAS DETALLADOS

A Continuación se indican los siguientes diagramas:

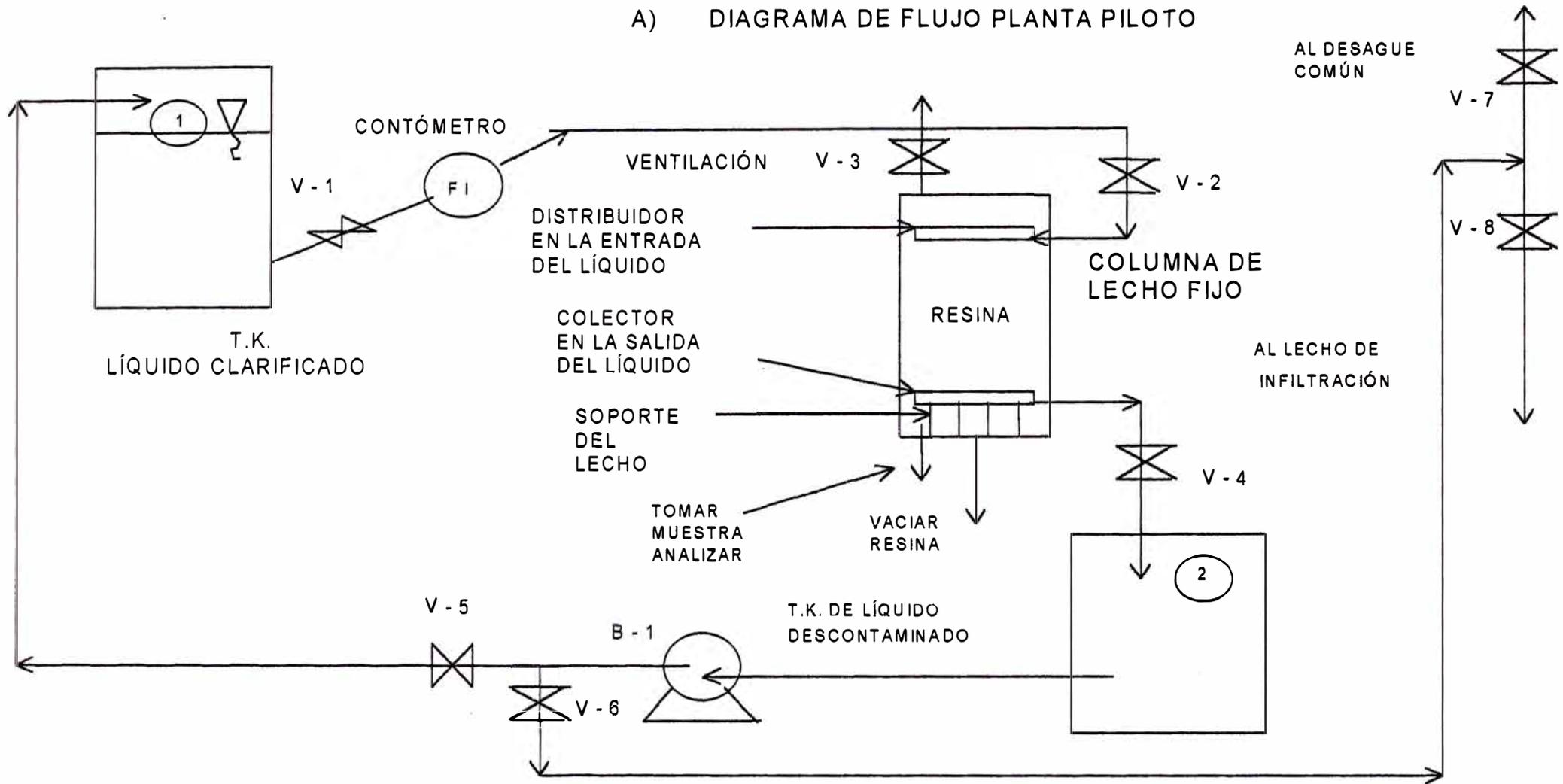
A) Diagrama de flujo de la planta piloto

B) Ubicación de la planta piloto

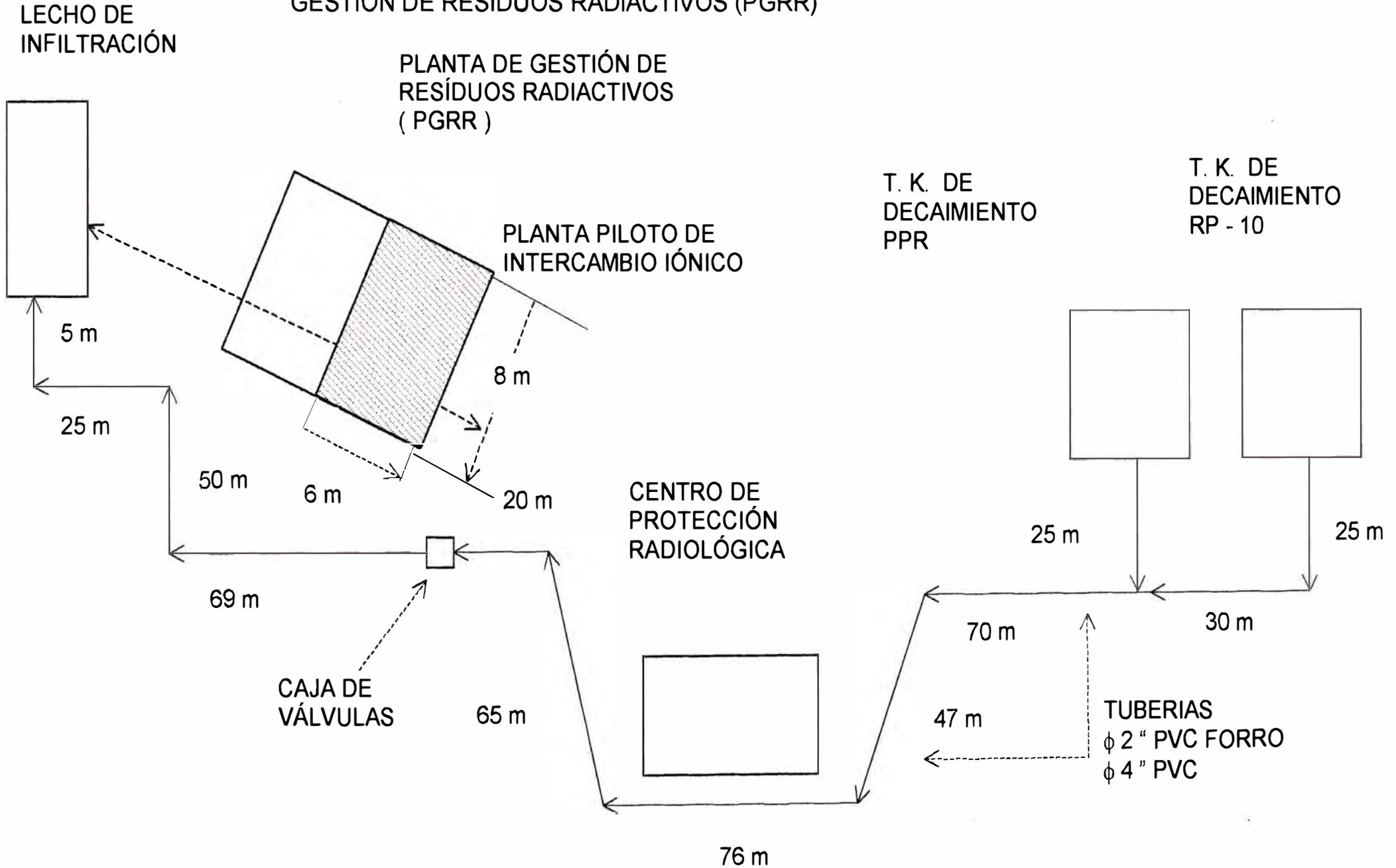
C) Vistas superior, frontal y lateral de la planta piloto
(ver anexo 4)

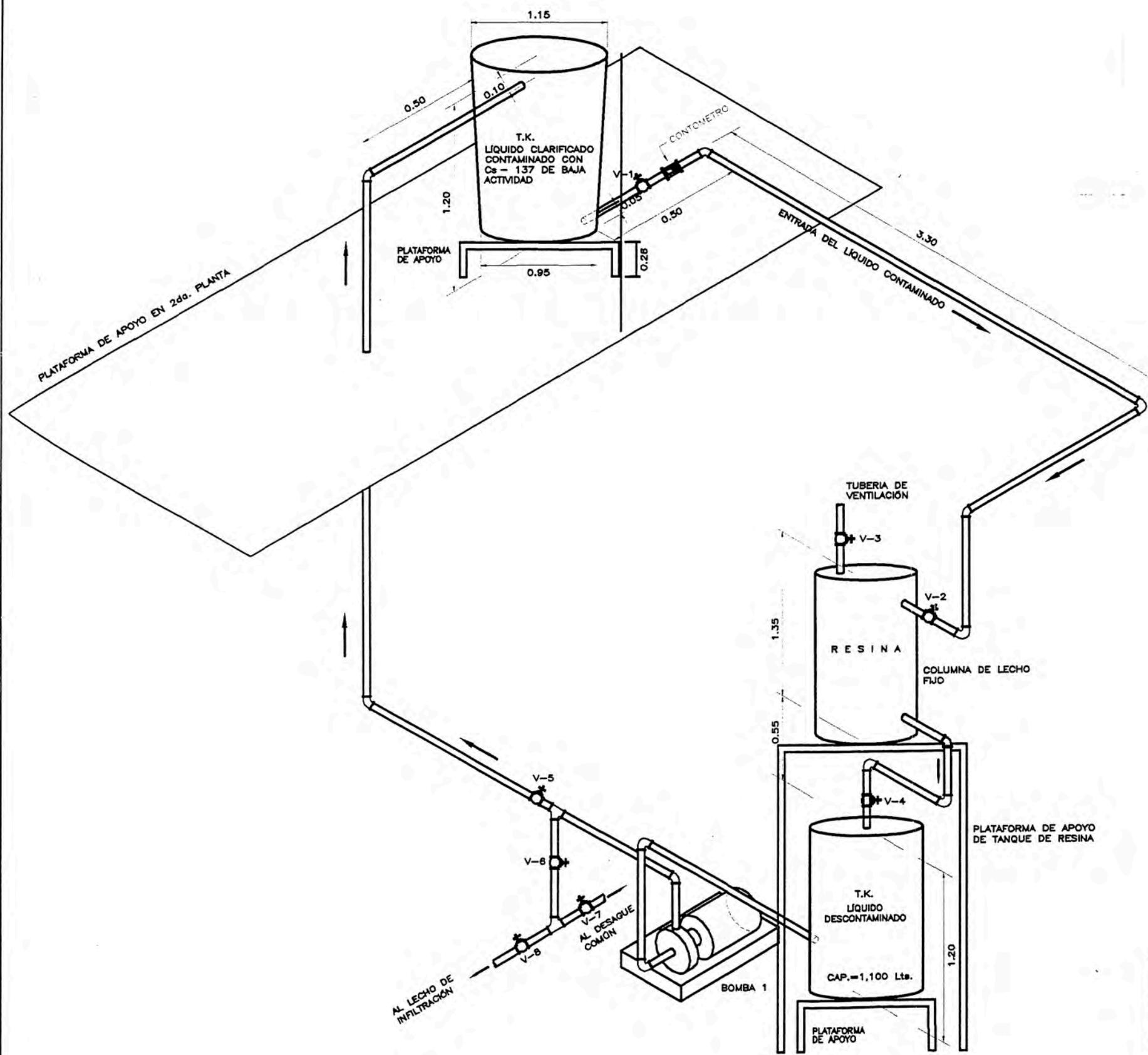
D) Dibujo isométrico de la planta piloto

A) DIAGRAMA DE FLUJO PLANTA PILOTO



B) DIBUJO DE LA RED DE TUBERIAS Y UBICACIÓN DE LA PLANTA PILOTO EN LA PLANTA DE GESTIÓN DE RESÍDUOS RADIATIVOS (PGRR)





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DISEÑADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PROYECTO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	INTERCAMBIADOR IÓNICO		
APROBADO	PLANO N°7	DIBUJO ISOMETRICO DE PLANTA PILOTO	REV.
	FECHA 1,999	ESCALA S/E	

3.2.1.3 CÁLCULOS DE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL SISTEMA INDICADO

PARTE I

A. ALCANCE

Cálculo Hidráulico de la Caída de Presión del Sistema en Funcionamiento Normal.

B. RESULTADO BUSCADO

Determinación de la Caída de Presión del Sistema en Funcionamiento normal.

C. HIPÓTESIS EMPLEADAS

C.1 Velocidad en Tuberías igual a $v = 0.043 \text{ m / seg} < 2 \text{ m / seg}$ (v máx.)
 $v = 0.043 \text{ m / seg}$ (Valor Adoptado para Diseño)

D. CÓDIGOS – NORMAS Y / O MANUALES DE CÁLCULO UTILIZADOS

D.1 Datos varios (Catálogos Resina IR – 120, Ionac 249) [14]

D.2 PERRY – Manual del Ingeniero Químico

D.3 LOCKWOOD Y CIA. – Cálculo Hidráulico.
 Lecho Mixto.Unidad6.IPEN

D.4 WILLIAMS – HAZEN – Ábaco Caída de Presión en Tuberías

D.5 OCON – TOJO Problemas de Ingeniería Química

E. ECUACIONES UTILIZADAS

Ecuaciones Generales de la Hidráulica.

F. DATOS DE ENTRADA

F.1 Caudal de Funcionamiento Normal $Q = 0.078 \text{ m}^3 / \text{hora}$

Origen : Ver Capítulo Bases y Cálculos de Diseño

Cálculo del Caudal de la Operación $Q = 1.3 \text{ lt / min}$

F.2 Diagrama Adjunto en Referencia al Sistema
 (DIAGRAMA A) Ver pág. 61

DESARROLLO DEL CÁLCULO:

Se presenta el cálculo de las caídas de presión por fricción en forma tabulada.

En las mismas, para su mejor comprensión el desarrollo del cálculo es el siguiente:

a) Caída de presión en tuberías:

$$\Delta H = K \cdot L \quad \text{donde}$$

K = de fórmula de WILLIAMS - HAZEN

L = Longitud del tramo

b) Caída de presión en accesorios:

$$\Delta H = N \cdot K \cdot v^2 / 2g \quad \text{donde}$$

N = Cantidad de accesorios

K = Factor de fricción

$v^2 / 2g$ = Factor cinético

c) Caída de presión en colectores con criterio conservador se toma

$$\Delta H = K \cdot v^2 / 2g \quad \text{donde}$$

K = de WILLIAMS - HAZEN

$v^2 / 2g$ = Factor cinético

d) Caída de presión en la resina:

$$\Delta H = K \cdot L \quad \text{donde}$$

L = altura del lecho de resina

K = del gráfico para ΔH vs. gal. / ft² min.

Ver Fig. 5.5

[14]

PÉRDIDA DE CARGA EN EL LECHO DE RESINA

$$D = 0.743 \text{ m} = 0.743 \text{ m} \frac{(39.36 \text{ pulg})}{(1 \text{ m})} \cong 29 \text{ ''}$$

$$\text{Sección neta} = 0.434 \text{ m}^2 = \frac{0.434 \text{ m}^2 (3.28^2 \text{ ft}^2)}{(1 \text{ m}^2)} = 4.67 \text{ ft}^2$$

Altura resina = 0.60 m

$$\text{Velocidad de pasaje en el lecho} = \frac{0.078 \text{ m}^3 / \text{hora}}{0.434 \text{ m}^2} = \frac{0.18 \text{ m} (1 \text{ hr})}{\text{hr} (3600 \text{ seg})} = \frac{5 \times 10^{-5} \text{ m}}{\text{seg}}$$

$0.344 \text{ gal} / \text{min} / 4.67 \text{ ft}^2 = 0.074 \text{ gal} / \text{min. ft}^2$ ingresando con esta abscisa en la

Fig. 5.5 para IR – 120 se halla $\Delta H = 0.05 \text{ lb} / \text{in}^2 \cdot \text{ft}$ [14]

Para Altura resina = 0.60 m $\Delta H = 0.05 \text{ lb} / \text{in}^2 \cdot \text{ft} \times 0.60 \times 3.28 \text{ ft} \times 10.33 \text{ m.c.a}$

14.7 psi

Efectuando operaciones resulta por exceso

$$\Delta H = 0.07 \text{ m.c.a.} *$$

Ver Anexo 1

PÉRDIDA DE CARGA EN EL COLECTOR SUPERIOR e INFERIOR

Datos :

$$v = 0.043 \text{ m} / \text{seg}$$

$K = 4$ (Cálculo Hidráulico de Provisión de Agua al Reactor. Unidad 6. IPEN)

Fórmula :

$$\Delta H = K v^2 / 2 g = \frac{4 \times (0.043)^2 \text{ m}^2 / \text{seg}^2}{2 (9.8 \text{ m} / \text{seg}^2)}$$

$$\Delta H = 3.8 \times 10^{-4} \text{ m.c.a}$$

* m.c.a = metros de columna de agua (unidad de presión).

CAÍDA DE PRESIÓN EN EL SISTEMA INDICADO

(Ver Diagrama A) TRAMO (1) a (2)

DESDE : Nivel Superior del T.K. de Clarificado
HASTA : Tubería de Salida a la Atmósfera

ELEMENTO	DIÁMETRO	K	Velocidad	$v^2 / 2g$ ó Le	$\Delta H = \frac{N.K. v^2}{2g}$
-	-	-	m / seg	m	m.c.a
V esférica – 1 ¾ cerrada	1 pulgada	0.03	0.076	30	0.90
1 Contómetro FI	1 pulgada	-	0.043	9.45×10^{-5}	0.16 *
7 CODOS DE 90°	1 pulgada	0.75	0.043	9.45×10^{-5}	4.96×10^{-4}
V esférica – 2 ¾ cerrada	1 pulgada	0.03	0.076	30	0.90
ENTRADA	1" x 30"	1	0.043	9.45×10^{-5}	9.45×10^{-5}
COLECTOR SUPERIOR	1 pulgada	4	0.043	9.45×10^{-5}	3.8×10^{-4}
RESINA	74.3 cm	-	0.00005	-	0.07
COLECTOR INFERIOR	1 pulgada	4	0.043	9.45×10^{-5}	3.8×10^{-4}
SALIDA 30" x 1"	30" x 1"	0.5	0.043	9.45×10^{-5}	4.725×10^{-5}
V esférica – 4 ¾ cerrada	1 pulgada	0.03	0.076	30	0.90
TUBOS RECTOS D = 1 pulg. L = 7.0 m $\Delta H = K \times L = 0.03 \times 7,0 \text{ m} =$					0.210 m
					$\Sigma \Delta H =$ 3.141 m.c.a
*Es la Caída Máxima para el Flujo Dado en un Contómetro .					

1.7 RESULTADOS ALCANZADOS

1.7.1 La Caída de Presión Total del sistema en las condiciones establecidas será :

$$\Delta H_T = 3.141 \text{ m.c.a}$$

**CÁLCULO DEL BALANCE DE ENERGÍA PARA DETERMINAR SI ES
NECESARIO INSTALAR UNA BOMBA EN EL TRAMO (1) a (2)**

PARTE II

A. ALCANCE

Calculo Hidráulico del Sistema de Bombeo de Líquido Radiactivo a la Columna de Lecho Fijo

B. RESULTADOS BUSCADOS

Determinar si es Necesario Instalar una Bomba para Alimentar el Líquido Radiactivo

C. HIPÓTESIS EMPLEADAS

C.1 Velocidad en Tuberías igual a $v = 0.043 \text{ m / seg} < 2 \text{ m / seg}$ (v máx.)
 $v = 0.043 \text{ m / seg}$ (Valor adoptado para diseño)

D. CÓDIGOS – NORMAS y / ó MANUALES DE CÁLCULO UTILIZADOS

D.1 Datos varios (Catálogos Resina IR – 120, Ionac 249) [14]

D.2 PERRY – Manual del Ingeniero Químico

D.3 LOCKWOOD Y CIA. – Cálculo Hidráulico.

Lecho Mixto.Unidad 6. IPEN

D.4 WILLIAMS – HAZEN – Ábaco Caída de Presión en Tuberías

D.5 OCON – TOJO Problemas de Ingeniería Química

E. ECUACIONES UTILIZADAS

Ecuaciones Generales de la Hidráulica

F. DATOS DE ENTRADA – SU ORIGEN

F.1 Ver Cálculo de la Caída de Presión Parte I

F.2 Diagrama Adjunto en referencia al sistema
(DIAGRAMA A) Ver pág. 61

BALANCE DE ENERGÍA EN EL TRAMO (1) a (2)

Por la Ecuación hidráulica de Bernoulli desde 1 hasta 2 se tiene:

$$P_1 + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + W_B = P_2 + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H_T$$

$$0.0 \text{ atm} + 4.34 \text{ m} = 0 \text{ atm} + Z_2 \text{ m} + \frac{0.043^2 \text{ m}^2/\text{s}^2}{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2} + 3.141 \text{ m}$$

$$Z_2 = 1.20 \text{ m}$$

$$W_B = 0.0 \text{ m}$$

De acuerdo al resultado de la Ecuación de Bernoulli se desprende que la energía de gravedad es suficiente para vencer la resistencia ofrecida por el Sistema en el Tramo 1 a 2.

Esto significa que no se requiere de una Bomba en ese Tramo, y que inclusive el Punto 2 puede estar a una cota menor ó igual a 1.20 metros.

3.2.1.4 DIAGRAMA DETALLADO

A continuación Ver el Plano No. 7

Dibujo Isométrico de la Planta Piloto ver pág 61.

CAPÍTULO IV

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA

4.1.1 BIENES DE CAPITAL

La Inversión de Bienes de Capital o Capital Fijo (CF) estará subdividida según los siguientes componentes:

$$\begin{aligned} \text{Bienes de Capital o de Capital Fijo (CF)} &= \text{Total de Costos directos (CD)} \\ &+ \text{Total de Costos indirectos (CI)} \end{aligned}$$

Los porcentajes de los diversos costos que constituyen la Inversión de Capital Fijo, indicados en el resúmen que sigue, son aproximaciones aplicables a Plantas de Procesos Químicos. [16]

Se debe tener en cuenta que los valores que figuran a continuación pueden sufrir modificaciones debidas a numerosos factores, como la localización de la planta, el tipo de proceso, la complejidad de la instrumentación, etc.

TABLA 4.1

Estimación del Costo de Inversión de Capital Fijo

Base: Costo del Equipo Adquirido = E

A) Costos directos = Los materiales y la mano de obra necesarios para la instalación del Equipo Adquirido completo

1. Equipo Adquirido	E
2. Instalación, incluyendo aislamiento y pintura	40% E
3. Instrumentación y controles, instalados	18% E
4. Cañerías y tuberías, instaladas	40% E

A) Total Costos directos Suma de los items 1 hasta 4

B) Costos indirectos = Gastos no directamente relacionados con los Materiales y la mano de obra correspondientes a la

instalación del Equipo completo.

1. Ingeniería y supervisión	10 % de	A
2. Gastos de construcción y honorarios del contratista	10 % de	A
3. Eventuales	10 % de	CF
B) Total Costos Costos indirectos	Suma de los items 1 hasta 3	

Bienes de Capital = Total Costos directos + Total Costos indirectos

Suma de los items A y B

CÁLCULO DEL COSTO DEL EQUIPO ADQUIRIDO (E)

COSTO DEL EQUIPO ADQUIRIDO (E) = COSTO DEL TANQUE +
COSTO DE LOS ACCESORIOS

Como una guía en la selección de los materiales de construcción para equipos de procesos, la Fig. 4.1[7, pág 79] presenta los costos del acero templado con neopreno el cuál se usará en un tanque cilíndrico para intercambio iónico.

COSTO DEL TANQUE CILÍNDRICO

Cálculo del Volumen total del tanque cilíndrico:

H total = capa de grava + h resina + C.E.

$$H \text{ total} = (0.30 \text{ m}) + (0.60 \text{ m}) + (0.75) * (0.60 \text{ m}) \quad [14]$$

$$H \text{ total} = 1.35 \text{ m}$$

Diámetro del tanque cilíndrico (D) = 0.743 m

$$V \text{ total} = \frac{\pi D^2 * H \text{ total}}{4}$$

$$V \text{ total} = \frac{\pi (0.743)^2 * 1.35 \text{ m}^3}{4} = 0.586 \text{ m}^3 = 155 \text{ gals}$$

V total = 155 gals (acero templado con neopreno)

$$\text{Costo del tanque} = \$ 500 (1968) \quad [7]$$

Actualizando el costo de 1,968 a la fecha 1,999

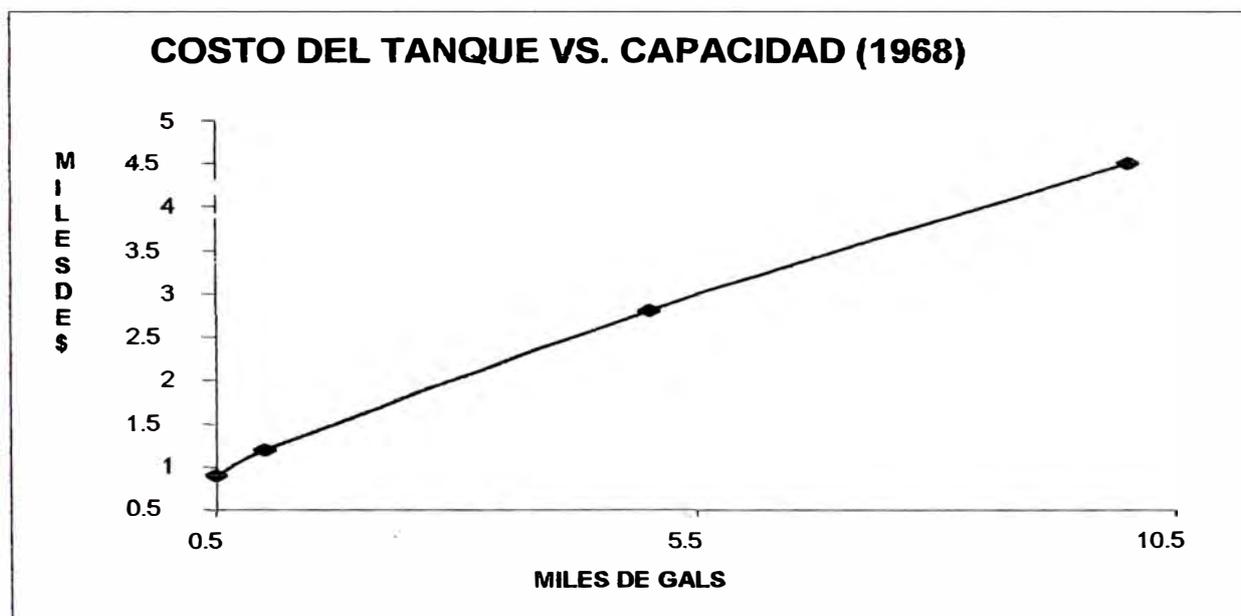
$$\text{Costo del tanque cilíndrico} = \$ 500 \times \frac{I \text{ M\&S} (1999)}{I \text{ M\&S} (1968)} *$$

Costo del tanque cilíndrico = \$ 500 (1063 / 300)

Costo del tanque cilíndrico = \$ 1772

* Revistas Chemical Engineering años 1968 y 1999

Fig. 4.1



A continuación se presenta una lista, donde además del costo del tanque, se incluye los costos de los accesorios que se usarán en la planta piloto.

(Ver Diagrama de Flujo pág. 61)

Descripción	Prec. Unit. (S/.)	Prec. Total (S/.)	Prec. Total (\$) *
Tanque Cilíndrico	5847	5847	1772
1 Contómetro	500	500	150
1 T.K – Rotoplas 1100 lt	495	495	150
1 Bomba Nowax 0.5H.P.	420	420	125
2 Válvulas Esféricas ϕ 1	100	200	61
10 mt Tubería ϕ 1 " PVC	14	140	43
4 Uniones ϕ 1 " PVC	10	40	13
2 Codos de 90 ° PVC	10	20	7
1 Tee ϕ 1 " PVC	20	20	7
COSTO DEL EQUIPO ADQUIRIDO (E)			\$ 2,328

* Referencias: Tasa de Cambio (17 de Julio de 1999) 1 \$ = 3.3 S/.

Comercial TEO S.A. Ver Cotizaciones Nos. 00003253 - 99 y 00003265 – 99

Aquatrol Ver Cotización 033 – 99 (Ver Anexo 1)

Desarrollando c / u de los costos:

A) Costos directos

1. Equipo Adquirido	E	2328
2. Instalación, incluyendo aislación y pintura	40% E	931
3. Instrumentación y controles, instalados	18% E	419
4. Cañerías y tuberías, instaladas	40% E	931
5. 260 lt Resina IR –120 5 \$ / lt		1300 *
A) Total Costos directos (CD)		5909

B) Costos indirectos

1. Ingeniería y supervisión	10 % A	591
2. Gastos de construcción y honorarios del contratista	10 % A	591
3. Eventuales	10 % CF	0.1CF

B) Total costos indirectos (CI)

$$\text{Bienes de Capital o Capital Fijo (CF)} = (\text{CD}) + (\text{CI}) = 5909 + 1182 + 0.1 \text{ CF}$$

$$0.9 \text{ CF} = 7091$$

Despejando para CF

$$\text{CF} = 7091 / 0.9$$

$\text{CF} = 7,879 \$$

Está demostrado que las plantas radioquímicas para tratamiento de residuos radiactivos requieren diseños, los cuales no tienen contraparte con los de la industria química convencional.

La protección radiológica, el control crítico de las variables y parámetros, el manejo a distancia, son rasgos adicionales, los cuáles incrementan significativamente el costo de una planta radioquímica.

CONCLUSIONES

Las resinas estudiadas tiene muchas perspectivas de ser utilizadas como adsorbentes en la descontaminación de desechos radiactivos líquidos de baja actividad.

Las resinas IR – 120, IONAC – 249, ciclo H^+ ó ciclo Na^+ , sustituyen estos iones por el radionucleído Cs^+ - 137, debido al mayor radio iónico de este.

En la Parte Experimental el F.D. alcanza un valor de 1080, con la resina IR - 120, y 1029 con la resina IONAC – 249, mayores con respecto a los obtenidos con la Precipitación Química (F.D. = 100).

El tratamiento del residuo líquido usando Lecho Fijo, resulta ser más apropiado para el flujo de trabajo de 0.034 gal / min.

Las Pérdidas por Caída de Presión más significativas, para el flujo de 0.034 GPM , en el sistema dado está en las válvulas y en las tuberías.

El Sistema de Lecho Fijo, cumple con bajar las concentraciones a la entrada (10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} μ Ci / ml) hasta valores de salida cercanos al Fondo Natural (10^{-6} μ Ci / ml).

Para el Caudal de 0.034 gal / min, resultaria un valor de $Re < 2100$, correspondiendo a un Líquido en régimen Laminar.

Las dimensiones del Tanque Cilíndrico para el Equipo de Intercambio Iónico de acuerdo al diseño son:

Altura Total (H t) = 1.35 m, Diámetro (D) = 0.74 m, Area (S) = 0.4333 m²

El volumen calculado para la Resina (VR) es de 260 lt

La Evaluación económica resulta

Inversión de Bienes de Capital (CF) = 7,879 \$

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar como base este sistema de intercambio iónico por resinas para tratar los residuos radiactivos líquidos, y luego acondicionar la resina activada.

Su combinación con el tratamiento químico es útil y efectivo para la concentración de radionucleídos y la reducción de volumen.

Se recomienda la técnica de Intercambio Iónico debido a su mayor eficacia en la adsorción de la actividad con respecto a las técnicas alternativas de tratamiento químico y evaporación.

Las muestras de aguas para su análisis, y el caudal a tratar se recomiendan en considerarlos cuando el Reactor de Investigación trabaja a su máxima potencia.

Las resinas, una vez agotadas con radiactividad, se recomendaría su acondicionamiento posterior en un repositorio subterráneo.

Estas pruebas se han efectuado en un Centro Nuclear de Investigación y sería recomendable la ejecución en una planta piloto, con la aprobación previa de las autoridades correspondientes, en el mediano plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Oficina Técnica de la Autoridad Nacional OTAN - IPEN, "Reglamento de Seguridad Radiológica ", Lima – Perú, 1997.
- [2] H. de Pahissa, Martha, " Tecnologías de Tratamiento de Residuos Radiactivos Líquidos ", Curso Regional de Capacitación sobre Gestión de Residuos Radiactivos de Baja Actividad, Comisión Nacional de Energía Atómica C.N.E.A., Buenos Aires – Argentina, 7 al 25 de Noviembre de 1994.
- [3] Ayala Soto, Américo, " Estudio Técnico para la Automatización y Control de Procesos de la Planta de Tratamiento Químico de los Residuos Líquidos Radiactivos del Centro Nuclear "RACSO" ", Tesis para Título Profesional de Ingeniero Químico, UNI, Lima – Perú, 1997.
- [4] Rodríguez C. Genaro, " Estudio Técnico de Tratamiento de Residuos Líquidos Radiactivos de Baja Actividad en el Centro Nuclear RACSO ", Tesis para Título Profesional de Ingeniero Químico, UNI. , Lima – Perú, 1996.
- [5] Manual del Agua, su Naturaleza Tratamiento y Aplicaciones NalcoChemical, USA, 1994.
- [6] Glasstone, Samuel. , Ingeniería de Reactores Nucleares, 1995.
- [7] IAEA, Technical Report Series TRS N° 78, Viena – Austria, 1967, Págs.1- 147.
- [8] Hiester N., Vermeulen K., T., and Klein, G., " Manual del Ingeniero Químico ", J. H. Perry, et al. , Eds. Mc Graw – Hill, Sexta Edición (Tercera Edición en Español), New York, 1984, Capítulo 16 y 19.
- [9] Applebaum, Desmineralization by Ion Exchange, Plenum Press, Nueva York - USA, 1968. UNI

- [10] IAEA, STI / PUB / 116, " Practices in the Treatment of Low and Intermediate Level Radioactive Wastes ", Viena – Austria, 1966.
- [11] Rohm and Haas, USA, Catálogos de resina AMBERLITE IR – 120 EDS 0263 A, EDS 0264 A, EDS 0265 A – Abril 92.
- [12] Mallaupoma G., Mario, " Sistema de Gestión de Residuos Radiactivos en un Centro Nuclear de Investigación ", Tesis para Grado de MSc.,UNI., Lima – Perú, 1995.
- [13] Revista Nucleus Nº 2, Descontaminación de desechos radiactivos líquidos mediante tratamiento químico y adsorción con zeolitas naturales. La Habana – Cuba, 1987, Págs. 22 – 27.
- [14] Vergara Yayón, Francisco, Tratamiento de Aguas Industriales,Lima-Perú.Kavi Editores.1 ra. Edición, 1984. Págs. 165- 185.
- [15] Aquatrol, Catálogos de resina Ionac –249, Sybron Chemicals Inc. , USA, Guía de Referencia de resinas, 1999.
- [16] Peters & Timmerhaus, Diseño de Plantas para Ingenieros Químicos. 2 da. Edición, 1980. UNMSM. Págs. 15- 151
- [17] Ramos Trujillo, Yuly, " Tratamiento de Aguas en el Sistema de Purificación del RP-10 ", Tesis para Título Profesional de Ingeniero Químico,UNMSM, 1997.
- [18] DiarioEl Peruano, Reglamento de Seguridad Radiológica,D.S. Nº 009- 97-EM, Normas Legales, Lima – Perú, 29 de Mayo de 1997.

ANEXO 1

**TABLA 1. - COEFICIENTE DE SELECTIVIDAD DE RESINAS
CATIONICAS**

TABLA 2. - PROPIEDADES DE LA RESINA IR - 120

TABLA 3. - CONDICIONES DE OPERACIÓN SUGERIDAS IR – 120

CÁLCULO DEL % DE VACÍO IR - 120, IONAC – 249

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO

COSTO DE LA RESINA IONAC – 249

**COTIZACIONES MATERIALES DE PVC, FIBRA DE VIDRIO Y BOMBA
PARA LA PLANTA**

CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO (RESINA IR – 120)

TABLA 1.- COEFICIENTE DE SELECTIVIDAD RELATIVA DE RESINAS DE INTERCAMBIO CATIONICO TIPO SULFÓNICO

CATION	% DE ENTRECruzAMIENTO DE DIVINILBENZENO		
	4	8	10
Li ⁺	1.00	1.00	1.001
H ⁺	1.30	1.26	1.45
Na ⁺	1.49	1.88	2.23
NH ₄ ⁺	1.75	2.22	3.07
K ⁺	2.09	2.63	4.15
Rb ⁺	2.22	2.89	4.19
Cs ⁺	2.37	2.91	4.15
Ag ⁺	4.00	7.36	19.4
Ti ⁺	5.20	9.66	22.2

FUENTE : BOLETIN DE RESINAS ROHM AND HAAS , 1990 , pág. 17.

TABLA 2. -

PROPIEDADES DE LA RESINA	IR - 120	
MATRIZ	COPOLÍMERO DIVINILBENCENO ESTIRENO	
GRUPO FUNCIONAL	SO ₃ ⁻	
FORMA FÍSICA	PERLAS ÁMBAR	
FORMA IÓNICA	FORMA Na ⁺	FORMA H
CAP. DE INTERCAMBIO	≥ 2 eq/lit	≥ 1.8 eq/lit
CAPACIDAD DE MEZCLA	44 a 49 %	51 a 56 %
DENSIDAD	770 A 860 g/lit	725 a 810 g/lit
GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.26 a 1.30 (FORMA Na ⁺)	
TAMAÑO DE PARTÍCULA	Ver grados disponibles	
MÁXIMO CAMBIO REVERSIBLE	Na ⁺	➤ H ⁺ : 10%
RESISTENCIA QUÍMICA	Insoluble en soluciones diluídas de ácidos ó bases y solventes comunes.	

Los métodos de prueba están disponibles bajo pedido, a Room and Haas.

TABLA 3. -

CONDICIONES DE OPERACIÓN SUGERIDAS

	CICLO SODIO	CICLO HIDRÓGENO
PH	1.0 a 14.0	1.0 a 14.0
TEMPERATURA MÁX.	121 ° C	121 ° C
ALTURA MÍN. DE LECHO	0.60 m	0.60 m
FLUJO DE OPERACIÓN	16.0 lt / hr / lt	16.0 lt / hr / lt
CAP. INTERCAMBIO	2.0 eq / lt	1.8 eq / lt

- Seguridad en el manejo.
- Amberlite es una marca registrada de Rohm and Haas Company, Philadelphia, U.S.A. / Separation Technologies.

ETAPAS EN LA OPERACIÓN

El intercambio se realizará en 1 etapa: Servicio

SERVICIO

Durante esta etapa, la corriente de agua pasa través del lecho de resina típico de 0.6 a 1.8 m de altura.

En la desionización, la resina intercambia todos los cationes del agua por una cantidad equivalente de iones Na^+ ó H^+ .

La fuga del ión (generalmente Na^+) depende del nivel de regeneración, salinidad total, contenido de sodio y alcalinidad.

Estos factores también determinan la capacidad de operación.

CÁLCULO DEL % DE VACÍO

PARA RESINA IR – 120 DE POLIESTIRENO [8]

$$d_a = (1 - f_e) d_R$$

donde $f_e = 40\%$ (0.40)

d_A = Densidad aparente

d_R = Densidad real

PARA RESINA IONAC – 249 DE POLIESTIRENO [8]

$$d_a = (1 - f_e) d_R$$

donde $f_e = 40\%$ (0.40)

d_A = Densidad aparente

d_R = Densidad real

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO IÓNICO

DATOS RESINA IR-120 CICLO SODIO:

$V_R = 260 \text{ lt}$ $Q = 1.3 \text{ lt / min}$

PARÁMETROS:

$T = 25^\circ \text{ C}$, $P = 1 \text{ atm.}$, $N. R. = 250 \text{ gr/ lt de resina}$, $\text{PH} = 7$ [11]

$\text{Cap} = \text{Cap}^\circ \times C \times D \times E \times F \times G$

$\text{Cap} = 1.70 \times (0.97) \times 1 \times 1 \times 1 \times 0.935$

$\text{Cap} = 1.54 \text{ meq / ml}$

Para los cálculos de C, D, E, F y G VER TABLAS 5,6,7,8,9,10 según los Catálogos. [11]



- Desmineralizadores.
- Ablandadores.
- Osmosis Inversa.
- Esterilizadores.
- Purificadores.
- Conductímetros.
- Medidores de S.T.D. y PH.
- Filtro de Carbón Act.
- Filtro de Cuarzo.
- Elemento Filtrante.
- Resina Aniónica.
- Resina Catiónica.

COT. 033-99

Lima, 08 de Febrero de 1,999

SEÑOR
BENJAMIN DE LA BARRERA
FAX:

Mediante la presente nos es grato hacerle llegar nuestra cotizacion referente a una carga de resina Resina Cationica para Ablandador que a continuacion detallamos

ITEM 01

01 Pie Cubico de Resina Cationica Ciclo Sodio de alta capacidad (25,000granos)
Marca IONAC C-249-SEBRON CHEMICAL-USA, para Equipo Ablandador.
Informacion en hoja tecnica. C/pie3 US\$ 85.00

CONDICIONES DE VENTA

FORMA DE PAGO : CONTRA ENTREGA.
PRECIOS : NO INCLUYEN I.G.V 18%
TIEMPO DE ENTREGA : 01 DIAS DESPUES DE RECIBIDA SU O/C.

Sin otro particular, y a la espera de sus gratas órdenes ó de consulta alguna quedamos de ustedes.

ATENTAMENTE,

RAUL PALACIOS G.
AQUATROL

RIAL TEO S.A
 A DOLA # 865 SANTA CATALINA
 2011 Fax : 4728818
 : 30 am. - 18:30 pm.

Lima, 17 de Julio 1999

COTIZACION NRO. 00003253 - 99

-INST.PERUANO DE ENERGIA-13137129

Dirección :
 Dirección : AV. CANADA 1470

Representante : WILFREDO JUSTO
 : Cotización expresada en Soles

P R O F O R M A

DESCRIPCION DEL ARTICULO	UM	CANTIDAD	PREC.UNIT.	DSCTO.	PREC NETO
200 TUBO PVC AGUA EMBONE 12" x 5MT (C10-SAP)	TB	1.00	938.80	20.00	751.04
200 VALVULA COMPUERTA 2" CIM-70PES (ITALY)	FZ	1.00	122.53	20.00	98.02
000 CODO PVC AGUA 2" x 90 EMBONE (SAP)	FZ	1.00	8.80	20.00	7.04
200 ADAPTADOR PVC AGUA P/R 2" (SAP)	FZ	1.00	6.18	20.00	4.94
000 UNION SIMPLE PVC SAP 2" EMBONE (SAP)	FZ	1.00	6.18	20.00	4.94
200 TUBO PVC AGUA C/ROSCA 2" SAP C-10 (TB/5MT)	TB	1.00	85.50	20.00	68.40
100 TAPON HEMBRA PVC AGUA 12" EMBONE (SAP)	FZ	1.00	335.10	20.00	268.08
100 TANQUE F-ROTOPLAS 1100 LT (CON TAPA)	FZ	1.00	594.98	25.77	441.65

=====
 TOTAL : S/. 1,644.11

Condición de Pago : CONTADO INMEDIATO
 de la Oferta :
 Modo de Entrega :

AL TEO S.A
DIA # 865 SANTA CATALINA
Tel Fax : 4728818
30 am. - 18:30 pm.

Lima, 20 de Julio 1999

COTIZACION NRO. 00003265 - 99

:
- INST. PERUANO DE ENERGIA-13137129

:
: AV. CANADA 1470

WILFREDO JUSTO
a Cotización expresada en Dolares

P R O F O R M A

DESCRIPCION DEL ARTICULO	UM	CANTIDAD	DSCTO	PREC.UNIT.	PREC. TOTA
0) ELECTROBOMBA CENTRIFUSA 0.50 HP 111 NONAX (ITALY)	PZ	1.00	24.96	141.16	141.16
					=====
TOTAL BRUTO :					141.16
TOTAL DESCUENTO :					35.23

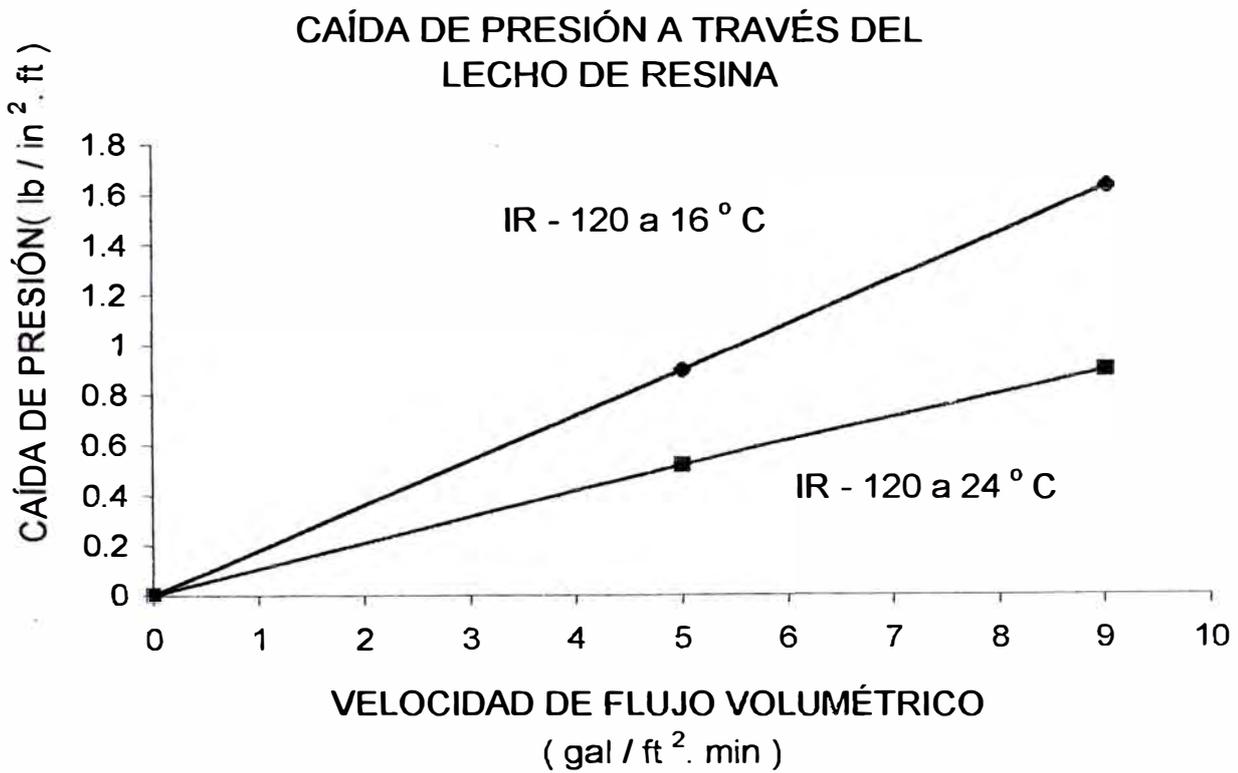
SUBTOTAL :					105.93
IMPUESTOS :					19.07
					=====
TOTAL :					US\$ 125.00

Condición de Pago : CONTADO INMEDIATO
Fecha de la Oferta :
Fecha de Entrega :

CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO (RESINA IR - 120)

A 16 ° C	
gal / ft ² min	lb / in ² ft
0	0
5	0.9
9	1.64

a 24 ° C	
gal / ft ² min	lb / in ² ft
0	0
5	0.52
9	0.9



ANEXO 2

**INSTRUCCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE LA CADENA DE
MEDICIÓN**

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRAR EL DETECTOR

MANEJO DE LAS TECLAS DE FUNCIONES

TABLA 4. - CURVA DE EFICIENCIAS

INSTRUCCIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE LA CADENA DE MEDICIÓN

- 1) Encender el CPU levantando el interruptor rojo que está al lado derecho.
- 2) Encender la pantalla presionando el botón " power".
- 3) Ingresar al directorio NUCLEUS.
C: \ > CD NUCLEUS ENTER
C: \ > NUCLEUS > PCA ENTER
Aparecerá una pantalla característica de NUCLEUS.
- 4) Levantar el interruptor del NIM BIN (TB 3) se encenderá la luz roja.
- 5) Levantar el interruptor del HIGH VOLTAGE (TC 948) se encenderá la luz verde.
- 6) Elevar el voltaje lentamente hasta 750 voltios (girar la perilla) 5 veces, el cero se encontrará entre el 2 rojo y 2 negro).
- 7) Borrar los espectros (puntos) que se encuentran en la parte superior de la pantalla presionando CTRL + F2.
- 8) Prefijar el tiempo de contaje presionando la tecla F3 (PRESET) y ENTER.
- 9) Colocar la muestra sobre el detector (dentro del blindaje).
Presionar la tecla F1 (ACQUIRE) para la adquisición de datos.
- 10) Observar en la parte inferior derecha de la pantalla que el porcentaje de tiempo muerto sea menor a 10 %, de lo contrario alejar la muestra del detector hasta que sea igual ó menor a 10 % y repetir el paso 7 y 10.
- 11) Finalizado el tiempo de contaje empezar a enmarcar el ROI (región de interés) presionando la tecla F9 para abrir y F10 para cerrar.
Se debe de marcar la región de interés con un margen de error mínimo.
- 12) Identificar el espectro presionando F5 (IDENT).
- 13) Grabar con F7 (SAVE).

PROCEDIMIENTO PARA CALIBRAR EL DETECTOR

- a.- Colocar las fuentes patrones en el blindaje.
- b.- Presionar la tecla F3 para prefijar el tiempo de contaje (1200 seg).
- c.- Presionar la tecla F1 para adquisición (acquire). Se empezará a ver el espectro creciendo en la pantalla).
- d.- Finalizado el tiempo de contaje empezar a enmarcar ó marcar la región de interés, presionando la tecla F9 (abrir) y F10 (cerrar).
- e.- Presionar las teclas ALT + C (CALC), nos mostrará un submenú luego llevar el cursor a CALIBRATE y presionar ENTER.
- f.- Introducir la unidad deseada (Kev ó Mev).
- g.- Ubicarse en el primer pico e introducir el valor de su energía, hacer lo mismo para los demás picos.
- h.- Para reporte en impresión presionar las teclas ALT + C, llevar el cursor a PEAK REPORT y ENTER, luego tipear PRN (Si se tipea EGA los datos sólo serán mostrados en la pantalla).

Se recomienda utilizar fuentes que tengan picos muy alejados.

MANEJO DE LAS TECLAS DE FUNCIONES

MENÚ PRINCIPAL

F1: ACQUIRE (Adquisición y finalización de datos, aparecerá STOP al detener la adquisición)

F2: ERASE Borra el espectro (puntos) presionando las teclas: CTR + F2; si se presiona F2 solamente, no se borrará el espectro, se debe presionar nuevamente cualquier tecla para llegar a la función inicial F3: PRESET (Permite prefijar el tiempo de conteo)

F4: EXPAND (Expande la pantalla de acuerdo a la elección 1024, 512, 206, 121)

F5: IDENT (Identifica el espectro analizado)

F6: LOAD (Permite cargar un espectro de cualquier unidad lógica en la memoria de la tarjeta, esta será cargada con todos sus parámetros de identificación)

F7: SAVE (Salva el espectro analizado) ESC - ROI: Permite mostrar un submenú con un nuevo bloque de funciones, volviendo a presionar regresa al menú principal

F9 : ROI (Activa la región de interés)

F10 : ROI (Finaliza la región de interés)

ALT R – ON / OFF: Permite visualizar y esconder el ROI marcado

ALT + F9 – SET COLORS: Permite modificar los colores de la pantalla

ESC – MAIN: Salida al menú principal

CURSORES: (Arriba) ↑ y (Abajo) ↓

Permite ver el espectro en diferentes escalas (log, 125, etc.)

FUENTES DE CALIBRACIÓN

Fuente	Energía	Probabilidad de Emisión
I-131	364.48	0.816
	636.97	0.0712
	722.89	0.0178
Co-60	1173.24	0.999
	1332.25	0.99824
Cs-137	661.66	0.850
Na-22	511.00	1.807
	1274.542	0.9994
Co-57	122.06	0.8559
	136.47	0.1058
Cs-134	604.7	0.976
	795.8	0.854

REFERENCIA : TECHNICAL REPORT SERIES No. 295

MANEJO DE LAS TECLAS DE FUNCIONES

MENÚ PRINCIPAL:

F1: ACQUIRE (Adquisición y finalización de datos, aparecerá STOP al detener la adquisición)

F2: ERASE Borra el espectro (puntos) presionando las teclas: CTR + F2; si se presiona F2 solamente, no se borrará el espectro, se debe presionar nuevamente cualquier tecla para llegar a la función inicial

F3: PRESET (Permite prefijar el tiempo el tiempo de contaje)

F4: EXPAND (Expande la pantalla de acuerdo a la elección 1024, 512, 206, 121)

F5: IDENT (Identifica el espectro analizado)

F6: LOAD (Permite cargar un espectro de cualquier unidad lógica en la memoria de la tarjeta, esta será cargada con todos sus parámetros de identificación)

F7: SAVE (Salva el espectro analizado)

ESC - ROI: Permite mostrar un submenú con un nuevo bloque de funciones, volviendo a presionar regresa al menú principal

F9 : ROI (Activa la región de interés)

F10: ROI (Finaliza la región de interés)

ALT R – ON / OFF: Permite visualizar y esconder el ROI marcado

ALT + F9 – SET COLORS: Permite modificar los colores de la pantalla

ESC – MAIN: Salida al menú principal

CURSORES: (Arriba) ↑ y (Abajo) ↓

Permite ver el espectro en diferentes escalas (log, 125, etc.)

TABLA 4. -

ENERGÍA (Kev)	EFICIENCIA
100	0.40964
200	0.18267
300	0.1139
400	0.08146
500	0.06281
600	0.05079
661.6	0.04532
700	0.04244
800	0.03633
900	0.03167
1000	0.02801
1100	0.02507
1200	0.02265
1300	0.02063
1400	0.01893
1500	0.01746
1600	0.0162

GEOMETRÍA : FRASCO 125 ml

VOLÚMEN : 100 ml

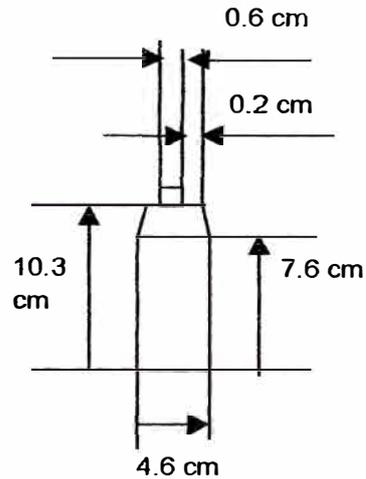


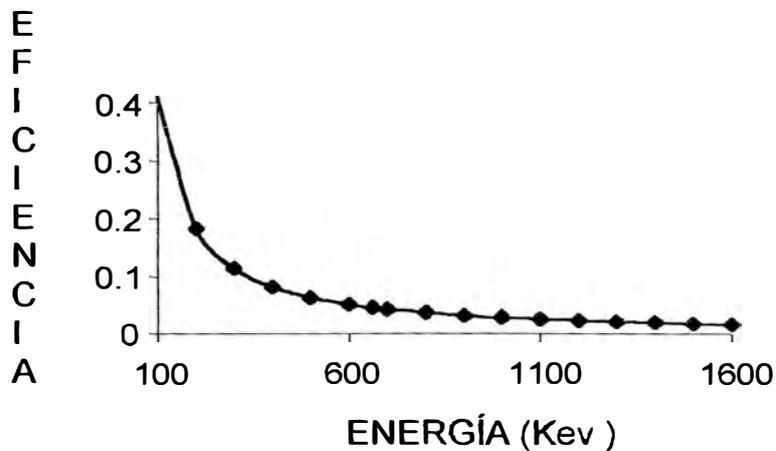
GRÁFICO 4. -

CURVA DE EFICIENCIAS

SISTEMA NaI 3" x 3" NUCLEUS-PC-II

$$\ln (E_{ficc}) = 4.473 - 1.1651 * \ln (\text{Energía})$$

FECHA = 01-03-99



ANEXO 3

**PLANTEAMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES
RADIATIVAS**

CONDICIONES PREVIAS

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES RADIATIVAS

CÁLCULOS DE LA OPERACIÓN EN LABORATORIO

CÁLCULO DEL TIEMPO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN

HOJA DE TRABAJO PARA EL LABORATORIO

FOTOS TOMADAS EN EL LABORATORIO

PLANTEAMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES RADIATIVAS

1º) OBJETIVOS

Preparar las soluciones radiactivas de: 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} μ Ci / ml

DATOS

A partir de $A_0 = 23.25 \mu$ Ci / ml

$V_0 = 10$ ml

Solución madre (Laboratorio de la Planta de Gestión de Residuos Radiactivos)

FECHA INICIAL = 02 / 02 / 1,998

FECHA FINAL = 02 / 02 / 1,999

$\Delta T = 01$ AÑO

2º) FUNDAMENTOS PARA LOS CÁLCULOS:

FÓRMULAS A EMPLEAR:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(1) = 23.25 e^{-0.693 / 30 \text{ años} (1 \text{ año})}$$

$$A(1) = 22.72 \mu \text{ Ci / ml}$$

FÓRMULA A EMPLEAR:

$$A_0 \times V_0 = A_1 \times V_1$$

Se asume: $V_0 = 2.0$ ml, $V_1 = 250$ ml, $A_0 = 22.72 \mu$ Ci / ml

Reemplazando valores

$$22.72 \mu \text{ Ci / ml} \times (2.0 \text{ ml}) = A_1 \times 250 \text{ ml}$$

Resulta

$$A_1 = 1.82 \times 10^{-1} \mu \text{ Ci / ml}$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2$$

$$A_2 = 1 \times 10^{-4} \mu \text{ Ci / ml}$$

Ejemplo para $V_2 = 1,000$ ml ;

$$V_1 = ? \quad A_1 = 1.82 \times 10^{-1} \mu \text{ Ci / ml}$$

$$1.82 \times 10^{-1} \mu \text{ Ci / ml} \times (V_1) = A_2 \times 1,000 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1 \times 10^{-4} \mu \text{ Ci / ml} \times 1,000 \text{ ml} / 1.82 \times 10^{-1} \mu \text{ Ci / ml}$$

Reemplazando valores

Resulta

$$V_1 = 0.55 \text{ ml}$$

CONDICIONES PREVIAS

- 1) Utilizar mandil
- 2) Utilizar dosímetro tipo lapicero o de película
- 3) Utilizar guantes descartables o quirúrgicos
- 4) Utilizar cubrezapatos
- 5) Mantener la zona de trabajo limpia y sólo con los materiales a usar
- 6) Forrar la mesa de trabajo con plástico
- 7) Marcar todos los materiales a usar con una letra C (caliente), en una cinta Masking Tape
- 8) Encender el extractor de aire y los materiales a utilizar instalarlos en la campana extractora dentro de un recipiente que los contiene, forrado con plástico y con papel toalla, como norma de seguridad en caso de un accidente, reciba el líquido activo derramado
- 9) Realizar la cantidad de simulacros necesarios hasta adiestrarse bien con la operación en frío antes de hacer la operación en caliente (con material radiactivo), supervisado siempre por el oficial de radioprotección

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES RADIATIVAS

- 1) Tomar la fiola de 10 ml $A_0 = 23.25 \mu\text{Ci} / \text{ml}$ y extraer un volumen mayor a 2 ml en un vial etiquetado con : vial 0

$$A_0 = 23.25 \mu\text{Ci} / \text{ml}$$

FECHA = 02 / 02 / 1998

Cs – 137

Y luego tapar el vial 0.

- 2) Previamente tener preparada una fiola de 250 ml conteniendo agua desionizada hasta los 3 / 4 de su volumen.
- 3) Extraer con una jeringa el volumen de 2 ml del vial 0 y agregar con cuidado a la fiola de 250 ml, luego tapar la jeringa y ponerla en un papel toalla y desecharla a la bolsa de residuos respectiva.
- 4) Agregar agua desionizada con una piceta hasta enrasar a un volúmen de 250 ml, al instante tapar la fiola y agitarla con cuidado.
- 5) Luego extraer con una jeringa el volumen mayor de 0.55 ml del vial 1 etiquetado con: vial 1

$$A_1 = 1.82 \times 10^{-1} \mu\text{Ci} / \text{ml}$$

FECHA = 02 / 02 / 1999

Cs – 137

Y luego tapar el vial 1.

- 6) Previamente tener preparada una fiola de 1000 ml conteniendo agua desionizada hasta los 3 / 4 de su volumen.
- 7) Extraer con una jeringa tipo tuberculina el volumen de 0.55 ml y agregar con cuidado en la fiola de 1000 ml, luego tapar la jeringa y ponerla en un papel toalla y desecharla a la bolsa de residuos respectiva.
- 8) Agregar agua desionizada con la piceta hasta enrasar a un volumen de 1000 ml, al instante tapar la fiola y agitarla con cuidado.

CÁLCULOS DE LA OPERACIÓN EN LABORATORIO

CÁLCULO DEL VOLUMEN DE RESINA :

$$V R = \pi D^2 / 4 . (H) = \pi (2.2)^2 / 4 . (20 \text{ cm}) = 76.03 \text{ ml}$$

CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL :

$$S = \pi D^2 / 4 = \pi (2.2)^2 / 4 = 3.802 \text{ cm}^2.$$

CAUDAL DE OPERACIÓN :

$$Q = 0.30 \text{ ml / min.cm}^2 \times (3.802\text{cm}^2) \quad [13]$$

$Q = 1.14 \text{ ml / min (ASUMIDO)}$	[13]
---	------

CÁLCULO DEL TIEMPO EN LA ETAPA DE OPERACIÓN

$$V = S \times H$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \times H = \frac{\pi D^2}{4} \times 20 \text{ cm} = 76.03 \text{ ml}$$

VOLUMEN DE AGUA LIBRE = 22.5 ml

VOLUMEN DE AGUA EN LA RESINA = 20 ml

08 cm \longrightarrow 08 ml

20 cm \longrightarrow 20 ml

VOLÚMEN TOTAL DE LÍQUIDO EN LA COLUMNA = 22.5 ml + 20 ml = 42.5 ml

ETAPA DE FIJACIÓN

$$Q = V / T$$

DE DONDE

$$T 1 = V / Q = 2 (42.5) / 1.14 \text{ ml / min}$$

$$T 1 = 74 \text{ min } 34 \text{ seg}$$

$$T 2 = (100 - 85) / 1.14 \text{ ml / min}$$

$$T 2 = 13 \text{ min } 10 \text{ seg}$$

$$T \text{ total} = T 1 + T 2$$

$$T \text{ total} = 87 \text{ min } 44 \text{ seg}$$

TABLA RESÚMEN

ETAPA	Q (ml / min)	V (ml)	T (min)	AGUA
OPERACIÓN	1.14	100.0	87.7	CONTAMINADA

PLANTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS RADIACTIVOS

HOJA DE TRABAJO PARA EL LABORATORIO CALIENTE

Nº DE REGISTRO:

FECHA:

TRABAJO A REALIZAR:

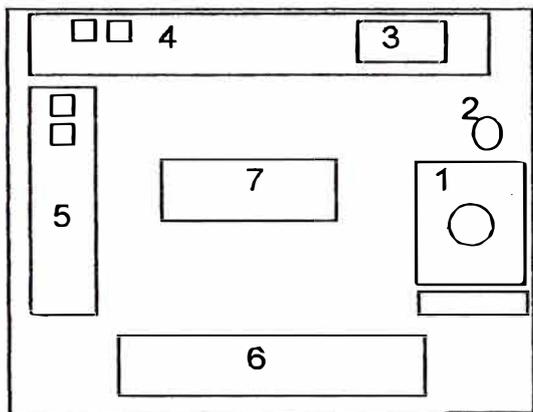
TIEMPO APROXIMADO DE TRABAJO:

HORA INICIO:

HORA FINAL:

PARTICIPANTES	TIPO DE DOSÍMETRO UTILIZADO			
	PELÍCULA	TLD	LAPICERO	
			LI	LF

MONITORAJE DEL AMBIENTE DE TRABAJO:



PUNTOS	cpm (i)	cpm (f)	Xc (mR/h)	X1m (mR/h)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

MATERIAL RADIACTIVO UTILIZADO:

NIVEL DE ACTIVIDAD :

MONITOR UTILIZADO :
 1)
 2)

VESTIMENTA UTILIZADA :

GUARDAPOLVO	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
CUBREZAPATOS	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
GUANTES	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
MÁSCARAS	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>

OTROS :

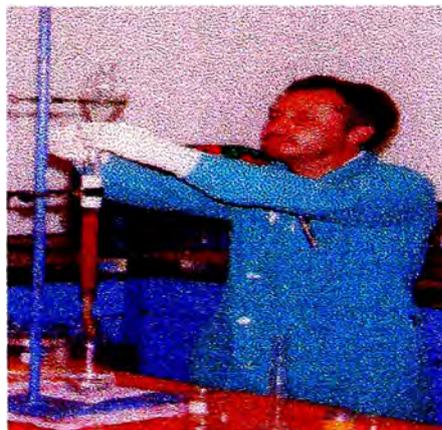
OBSERVACIONES :

.....
 FIRMA DEL OPERADOR

.....
 FIRMA DEL OFICIAL DE RADIOPROTECCIÓN

.....
 FIRMA DEL JEFE DE LA PLANTA DE GESTIÓN DE RESÍDUOS RADIACTIVOS

FOTOS TOMADAS EN EL LABORATORIO



ANEXO 4

PLANO 1 VISTA SUPERIOR DE LA PLANTA PILOTO

PLANO 2 VISTA FRONTAL DE LA PLANTA PILOTO

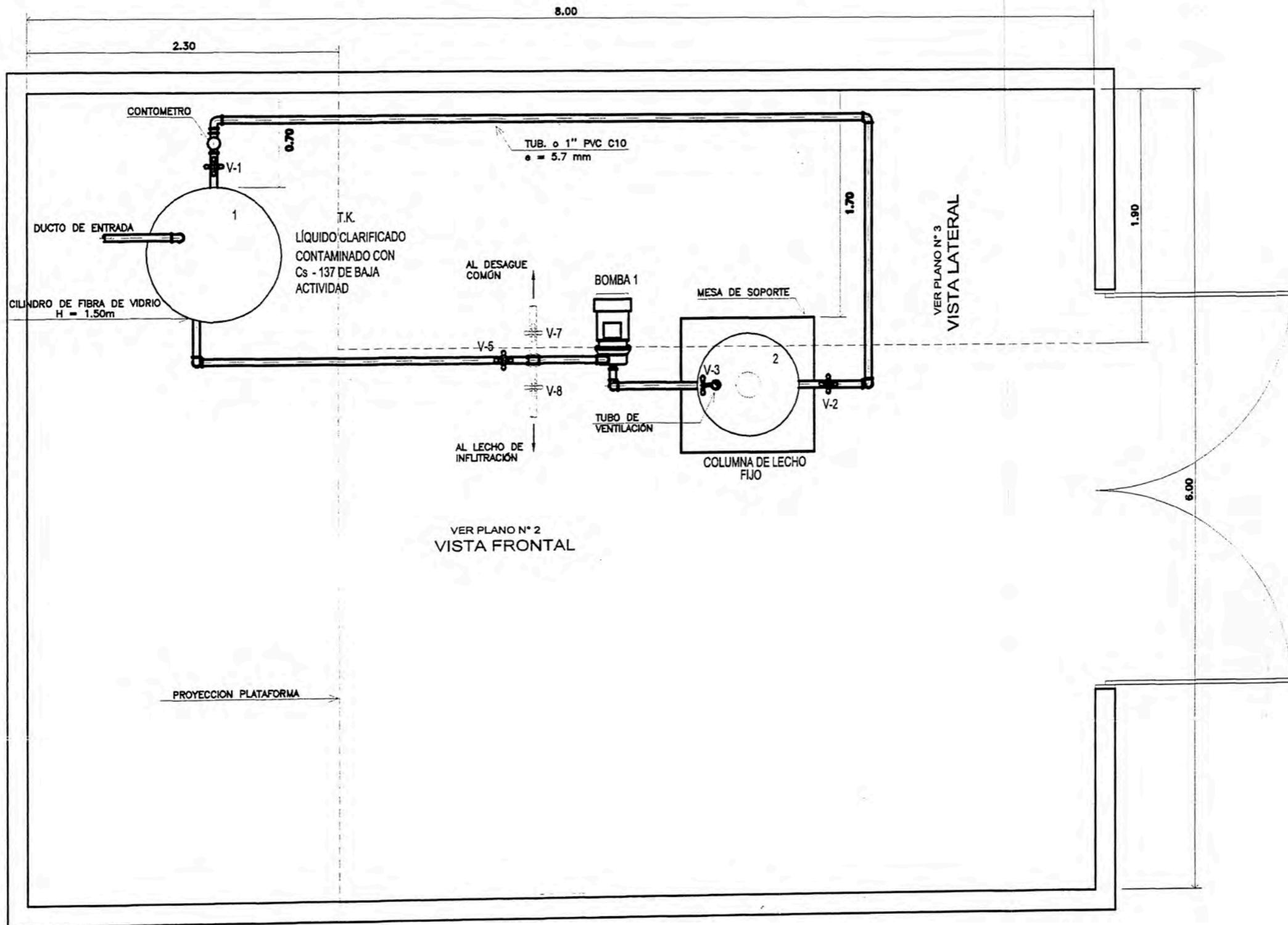
PLANO 3 VISTA LATERAL DE LA PLANTA PILOTO

PLANO 4 INTERCAMBIADOR IÓNICO ARMADO INTERIOR

PLANO 5 INTERCAMBIADOR IÓNICO VISTAS EXTERIORES

PLANO 6 DETALLE DISTRIBUIDOR SUPERIOR

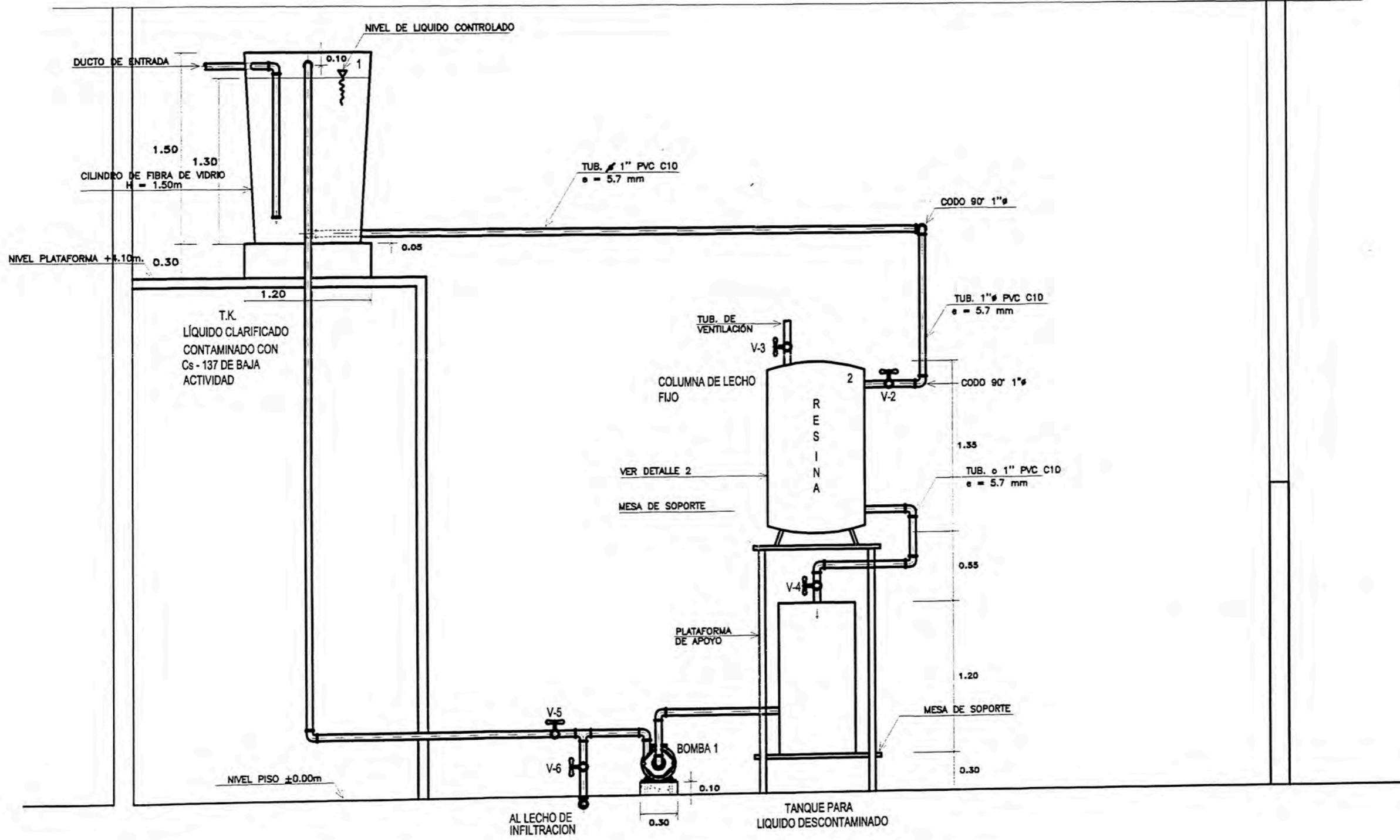
GLOSARIO DE TÉRMINOS



VISTA SUPERIOR DE PLANTA PILOTO

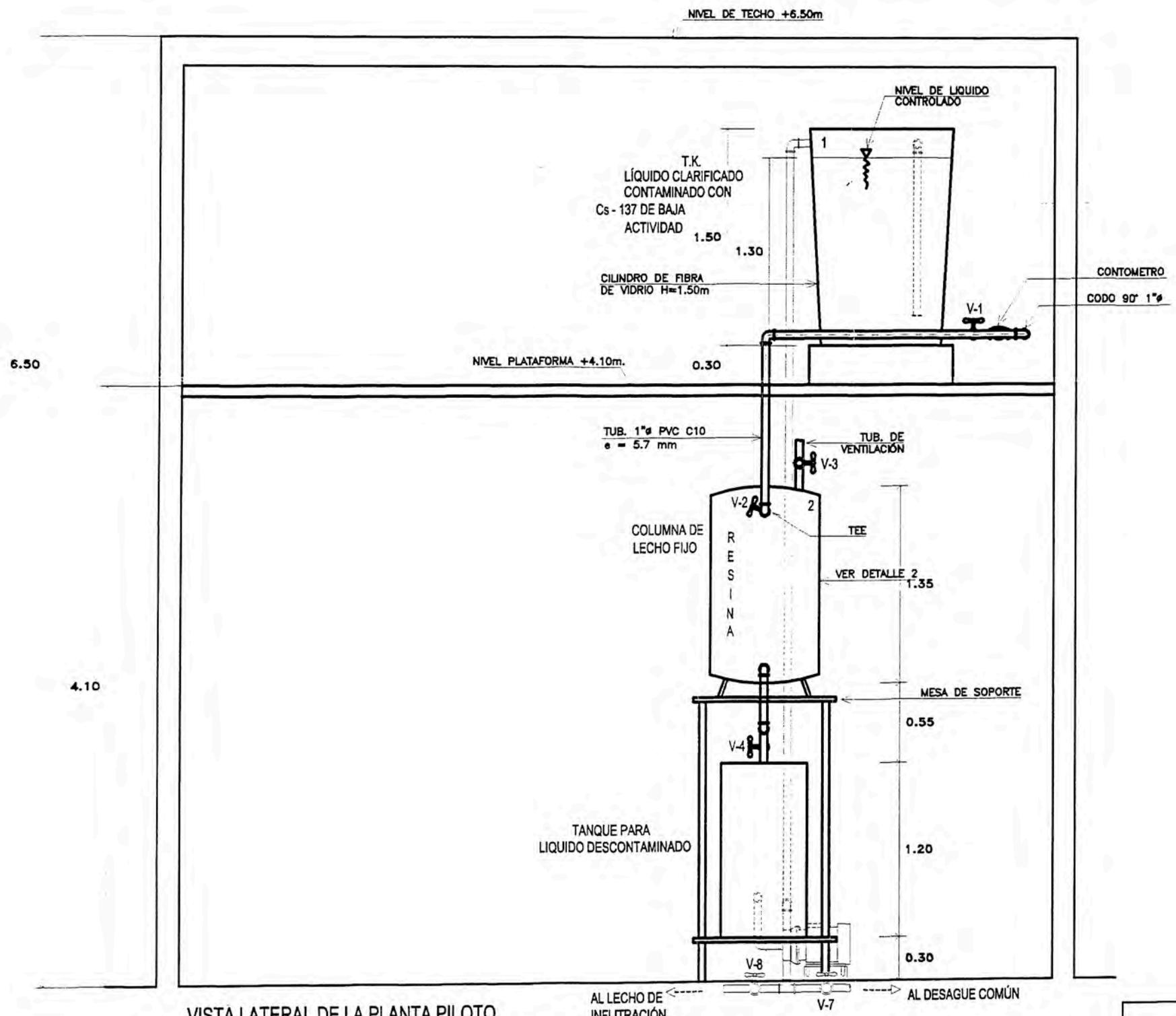
ESC. 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DISEÑADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PROYECTO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	INTERCAMBIADOR IÓNICO		
APROBADO	PLANO N°1	VISTA SUPERIOR	REV.
	FECHA 1,999	ESCALA INDICADA	



VISTA FRONTAL DE LA PLANTA PILOTO
 ESC. 1/25

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DISEÑADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PROYECTO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	INTERCAMBIADOR IÓNICO		
APROBADO	PLANO N° 2	VISTA FRONTAL	REV.
	FECHA 1,999	ESCALA INDICADA	

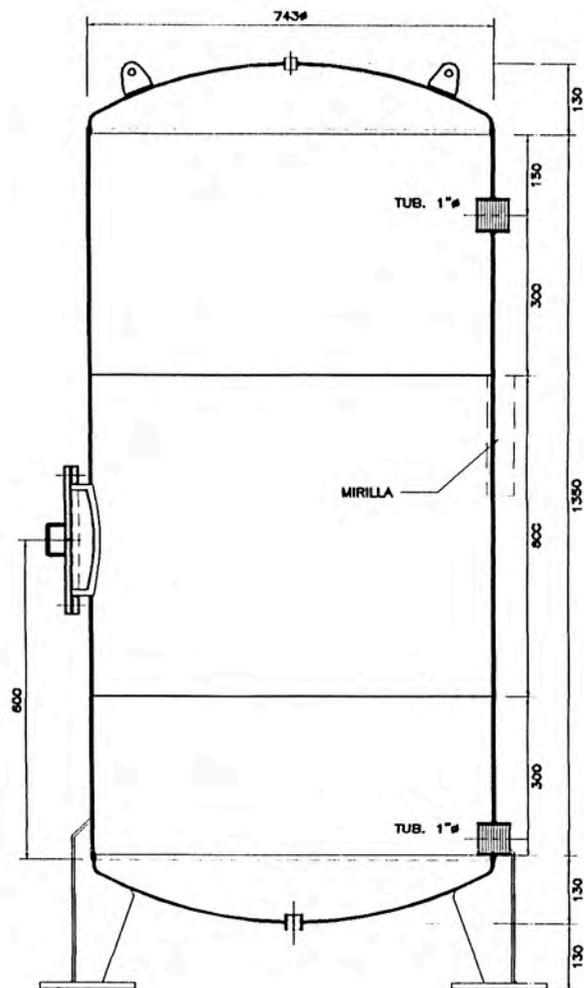


6.50

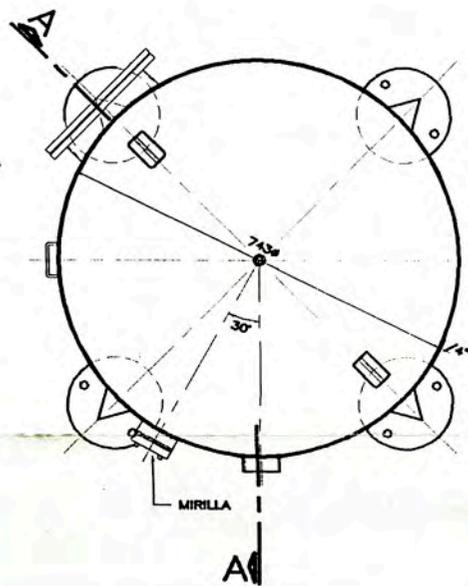
4.10

VISTA LATERAL DE LA PLANTA PILOTO
ESC. 1/25

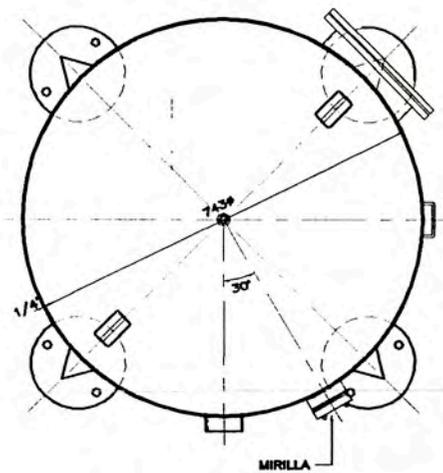
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DISEÑADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	INTERCAMBIADOR IÓNICO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA			
APROBADO	PLANO N° 3	VISTA LATERAL	REV.
	FECHA 1,999	ESCALA INDICADA	



CORTE A-A
ESC. 1/100



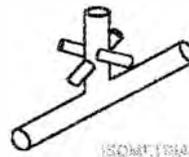
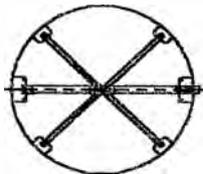
PLANTA MONTAJE N°1
ESC. 1/100



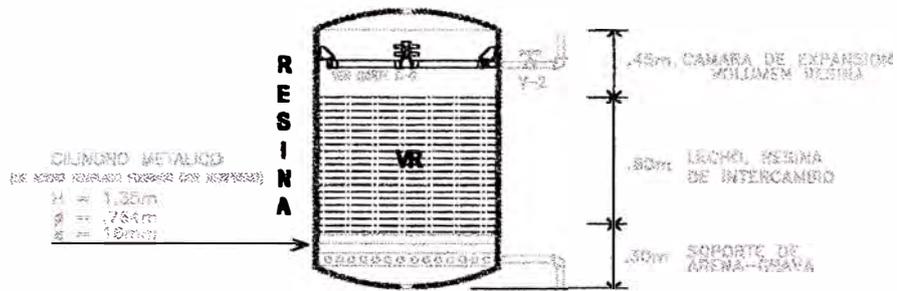
PLANTA MONTAJE N°2
ESC. 1/100

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

DISEÑO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PROYECTO INTERCAMBIADOR IÓNICO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PLANO N°6	VISTAS EXTERIORES	REV.
APROBADO	FECHA 1.999	ESCALA INDICADA	



ISOMETRÍA



DETALLE 2

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA			
DISEÑADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA	PROYECTO INTERCAMBIADOR IÓNICO		
REVISADO BACH. BENJAMIN DE LA BARRERA			
APROBADO	PLANO N° 6	DETALLE DE DISTRIBUIDOR SUPERIOR	REV.
	FECHA 1.988	ESCALA INDICADA	

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- Actividad.-

Para una cantidad de un radionucleído es un estado de energía, en un momento dado, la actividad A , es: $A = dN / dt$ siendo dN el valor medio del número de transformaciones nucleares espontáneas a partir de ese estado de energía, en el intervalo de tiempo dt .

En el sistema SI, la unidad de actividad es la inversa del segundo S^{-1} , que recibe el nombre de Becquerel (Bq).

- Almacenamiento temporal.-

Es el almacenamiento de materiales radiactivos de forma tal que; se ha previsto el aislamiento, enfriamiento, monitoraje, protección ambiental y control humano, y asimismo se esperan acciones posteriores que involucran el tratamiento, transporte y disposición o reprocesamiento.

- Átomo.-

Elemento constitutivo de la materia formado por un núcleo y atmósfera electrónica que lo rodea.

El núcleo está formado por protones (+) y neutrones (o).

- Autoridad Nacional.-

Es la máxima autoridad, ejercida por el Presidente del Instituto Peruano de Energía Nuclear, para resolver y dictaminar sobre asuntos en el ámbito nuclear.

- Becquerel.-

Es la unidad de actividad en el sistema internacional (SI), se define como desintegración por segundo.

$$1 \text{ Bq} = 2.703 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

- Blindaje.-

Material interpuesto entre una fuente de radiación y las personas o el equipo de otros objetos, con el fin de atenuar la radiación.

- Contaminación.-

Presencia de sustancias radiactivas dentro de una materia o en su superficie, o en el cuerpo humano o en otro lugar, donde no son deseables ó pudieran ser nocivas.

- Control ambiental.-

El objetivo final de las gestiones de residuos es:

Mantener las condiciones de operación y del ambiente ajustadas a las normas internacionales de protección radiológica en donde las dosis de los elementos contaminantes se encuentren libres de riesgo.

Para esto se requiere realizar mediciones radiométricas, que determina, con el apoyo de una cadena computarizada, los niveles de actividad radiactiva de diferentes tipos de residuos que se presentan en las operaciones del Centro Nuclear de Investigación.

En el caso de líquidos radiactivos, se obtiene resultados por la siguiente fórmula:

$$\text{ACTIVIDAD (A)} = [\text{Cuentas Netas} / (\text{ef} \times \%E \times V m \times T c)] \times V t$$

Siendo :

ACTIVIDAD (A) = Actividad del radionucleído en Becquerelios (Bq)

CUENTAS NETAS = Las obtenidas por la medición espectrométricas
(Cuentas / Seg)

ef = Eficiencia de la medición para el detector de NaI 3" X 3", y la geometría del recipiente

%E = Probabilidad de Emisión de la Radiación γ , para el radionucleido Cs - 137

V m = Volumen de la muestra en el recipiente (ml)

TIEMPO DE CONTAJE (T c) = Las dadas para el conteo de la muestra (seg)

- Descontaminación.-

Es la remoción o reducción de la contaminación radiactiva.

- Desechos radiactivos.-

Son materias resultantes de prácticas ó intervenciones, para los que no se prevee uso posterior, que contiene o está contaminado con radionucleídos en cantidades mayores a los niveles de exención y cuya exposición no puede excluirse del reglamento.

- Dosis.-

Es una medida de la radiación que recibe ó absorbe un medio.

- Dosis absorbida.-

Es la energía media (de) entregada por la radiación ionizante en un elemento de volumen (dm).

$$D = \frac{\text{de}}{\text{dm}} = \text{Gray } \left(\frac{\text{Joules}}{\text{Kg}} \right) = 100 \text{ Rad}$$

- Dosis equivalente (H). -

Es una indicación de riesgo biológico previsible y para los efectos de protección radiológica se define como el producto D.Q.N en el punto de interés de un tejido, siendo D la dosis absorbida, Q el factor de calidad, N el producto de cualquier otro factor modificativo.

Se asigna a N el valor de 1.

$$H = D.Q.N$$

La unidad de dosis equivalente es el Sievert (S v)

$$1 \text{ S v} = 1 \text{ J / Kg}$$

$$1 \text{ S v} = 100 \text{ rem}$$

- Dosis equivalente efectiva (H E). -Magnitud definida por la expresión:

$$H E = \sum W_t H_t$$

Donde H_t = es la dosis equivalente medida en el órgano o del tejido t y

W_t = es el factor de ponderación de riesgo.

- Efectos estocásticos.-

Efectos de la radiación cuya gravedad es independiente de la dosis y cuya probabilidad se considera que es proporcional a la dosis y no tiene un valor umbral.

- Efectos no estocásticos.-

Efectos de la radiación para los que existe un umbral, por encima del cuál, la gravedad del efecto varía con la dosis.

- Efluente radiactivo.-

Son materiales radiactivos líquidos o en forma de aerosoles que son descargados al medio ambiente.

- Factor de descontaminación (FD)-

Es la medida de calidad de la separación del radionucleído, se define como:

$$FD = \frac{\text{ACTIVIDAD EN LA ALIMENTACIÓN}}{\text{ACTIVIDAD EN EL CLARIFICADO}}$$

A mayor concentración de líquido radiactivo se obtendrá mayor FD, y ello indica un mejor tratamiento de separación.

- Factor de reducción de volumen (FRV). -

Es la relación de los volúmenes de los residuos radiactivos antes y después al tratamiento.

En procesos de concentración $FRV > 1$; en sistemas de dilución $FRV < 1$.

- Grupo Crítico

Para una determinada fuente de radiación, son las personas del público cuya exposición, razonablemente, es homogénea y característica de los individuos que reciben la más alta dosis equivalente efectiva procedente de la fuente.

- Isótopo.-

Es el átomo de un mismo elemento que poseyendo igual número de protones, tiene distinto número de neutrones y por ello es distinto su número de masa.

- Laboratorio de calibración dosimétrica.-

Laboratorio reconocido o acreditado por la autoridad nacional (OTAN) para establecer, mantener o mejorar patrones primarios o secundarios con fines de dosimetría de radiación.

- Límite Anual de Incorporación (ALI). -

Es el valor de la incorporación de un radionucleído determinado, durante un año, en el hombre de referencia, que se traducirá bien en una dosis equivalente efectiva integrada durante 50 años de 50 m Sv, ó bien de una dosis equivalente integrada durante 50 años, en el cristalino, de 150 m Sv, o en cualquier otro órgano o tejido.

- Límite.-

Es el valor de una magnitud que no se debe rebasar.

- Límite de dosis.-

Dosis máxima recomendada por la autoridad nacional como parte del sistema de limitación de dosis.

- Período de semidesintegración.-

Es el intervalo de tiempo necesario para que un radionucleído determinado reduzca su actividad a la mitad.

- Radiación ionizante.-

Nombre genérico que es utilizado para designar las radiaciones de naturaleza corpuscular y / o electromagnética, que en su interacción con la materia produce ionización y / o excitación de dosis.

- Riesgo.-

Es la probabilidad que un individuo determinado experimente un efecto estocástico nocivo dado, como resultado de una exposición a la radiación.

- Tiempo de retención.-

Es el tiempo de contacto del líquido con la resina al pasar a través del lecho.

$$T R = \frac{\text{VOLUMEN DEL LECHO, V.R. (lt) x \% VACÍO}}{\text{CAUDAL, Q (lt / min)}}$$

- Vigilancia radiológica.-

Es la medición de la radiación o de la radiactividad por razones relacionadas con el control de la exposición a una radiación o un material radiactivo y la interpretación de tales mediciones.

- Zona controlada.-

Es la zona donde los trabajadores podrían recibir dosis superiores a tres décimas de los límites de dosis equivalente profesional durante el período previsto de trabajo y en la que se aplican por consiguiente controles apropiados.

[18]